Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

NOE Novas Opções Energéticas

FAPEMIG

P&D ANEEL

CEMIG

MINAS GERAIS GOVERNO DE TODOS

Alternativas Sustentáveis:

Minas Gerais crescendo com responsabilidade!

Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

NOE Novas Opções Energéticas

FAPEMIG

P&D ANEEL

CEMIG

MINAS GERAIS GOVERNO DE TODOS

Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Ficha Catalográfica - Elaborado pelo autor

R375t Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais
/Ruibran Januário dos Reis e
Luciano Sathler dos Reis (Org.).
Belo Horizonte, 2017. Editora: Rona Gráfica e Editora
380 pgs.: ilust.

ISBN: 978-85-8239-053-5

1. Biomassa. 2. Climatologia 3. Mapeamento.
I. Reis, Ruibran Januário dos.

CDU: 551.58

Expediente:

Presidente

Bernardo Afonso Salomão de Alvarenga

Vice-Presidente

Bernardo Afonso Salomão de Alvarenga, interina e cumulativamente com suas funções de Diretor-Presidente.

Diretor Comercial

Dimas Costa

Diretor Interino de Distribuição e Comercialização

Ronaldo Gomes de Abreu

Diretor de Desenvolvimento de Negócios

César Vaz de Melo Fernandes

Diretor de Finanças e Relações com Investidores

Adézio de Almeida Lima

Diretor de Gestão Empresarial

José de Araújo Lins Neto

Diretor de Geração e Transmissão

Franklin Moreira Gonçalves

Diretor Jurídico

Luciano de Araújo Ferraz

Diretor de Relações Institucionais e Comunicação

Adézio de Almeida Lima, interina e cumulativamente com suas funções de Diretor de Finanças e Relações com Investidores.

Diretora de Relações e Recursos Humanos

Maura Galuppo Botelho Martins

ATLAS DE BIOMASSA DE MINAS GERAIS

Projeto de P&D Cemig/Aneel GT0557 - Projeto APQ-03677-12

Uma publicação da: Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG

Av. Barbacena, 1.200 – 20º andar – Tel.: (31) 3506-2607 - Caixa Postal 992 – Belo Horizonte/MG

E-mail: TETN - gerenciadegestaotecnologica@cemig.com.br

End. Internet: www.cemig.com.br

Coordenação de Edição

Ruibran Januário dos Reis

Luciano Sathler dos Reis

Cláudio Homero Ferreira da Silva

Projeto gráfico e direção de arte: Omar Vianello

Diagramação: Tiago Farias

Produção Gráfica: Luiz Carlos Queiroz

Fotos Ilustrativas: Shutterstock e Pexels Photo

Pesquisadores

Adriano Henrique Ferrarez

Adriano da Silva Antônio

Angélica de Cássia O. Carneiro

Benedito Rocha Vital

Carlos Antônio Alvares S.Ribeiro

Daniel Perreira Guimares

Delly Oliveira Filho

Eduardo de Aguiar do Couto

Fabrício Rodrigues Costa

Iann Gomes Rodrigues da Fonseca

João Francisco de Abreu

Joel Gripp Junior

Juliana Ferreira Lorentz

Lilianne Aparecida L. de Oliveira

Maria Lúcia Calijuri

Melina Amoni Silveira Alves

Paulo Fernandes Trugilho

Paula Peixoto Assemany

Roberto Rodrigues Avelar

Sabrina do Carmo Alves

Sandro Laudares

Thaisa Ribeiro Teixeira

Viviane Augusta Pascoal

Índice

1 - Introdução 9
1.1 - Contexto Energético 11

2 - Agrometeorologia de Minas Gerais 17
2.1 - Caracterização Geográfica 19
2.1.1 - Relevo 20
2.1.2 - Solo 22
2.1.3 - Hidrografia 24
2.1.4 - Vegetação 24
2.1.5 - Evapotranspiração 25
2.2 - Climatologia de Minas Gerais 27
2.2.1 - Classificação Climática de Köppen 27
2.2.2 - Precipitação 31
2.2.3 - Caracterização da Estação Chuvosa 35
2.2.4 - Temperatura do Ar 46
2.3 - Zoenamento Climático 47
2.3.1 - Resultados 48

3 - Fontes De Biomassa 63
3.1 - Café 65
3.2 - Cana-de-Açúcar 73
3.3 - Efluentes Líquidos de Animais 78
3.4 - Macaúba 97
3.5 - Mamona 102
3.6 - Microalgas 105
3.7 - Milho 111
3.8 - Pinhão Manso 115
3.9 - Resíduos Sólidos Urbanos 118
3.10 - Resíduos do Tratamento de Esgoto 123
3.11 - Soja 130
3.12 - Vegetais Lenhosos 135

4 - Potencial Energético 155
4.1 - Poder Calorífico 157
4.2 - Potencial Energético do Café 159
4.3 - Potencial Energético da Cana-de-Açúcar 161
4.4 - Potencial Energéticos de Efluentes Líquidos Domésticos 167
4.5 - Potencial Energético de Efluentes Líquidos Animais 171
4.6 - Potencial Energético do Milho 176
4.7 - Potencial Energético da Soja 178
4.8 - Potencial Energético de Resíduos Sólidos Urbanos 180
4.9 - Potencial Energético dos Vegetais Lenhosos 184

5 - Estudo de Caso 189
5.1 - Introdução 191
5.2 - Objetivos 192
5.3 - Metodologia 192
5.3.1 - Coleta de Dados 192
5.3.2 - Potencial de Geração de Energia Elétrica 194
5.4 - Viabilidade Econômica 195
5.4.1 - Receita Financeira 195
5.4.2 - Investimentos Inicias 195
5.4.3 - Custos Operacionais 196
5.4.4 - Custos para Obtenção do Combustível 196
5.4.5 - Fluxo de Caixa 197
5.4.6 - Indicadores Econômicos 197
5.5 - Resultados 199
5.6 - Conclusões 224

6 - Fechamento e Conclusões 227
6.1 - Desafios 232
6.2 - Perspectivas 234

Tabela do Potencial Energético por Municípios de Minas Gerais 235

Referências Bibliográficas 257

Anexo A - Vegetais Lenhosos 279

Referências Bibliográficas Anexo 372

1

INTRODUÇÃO

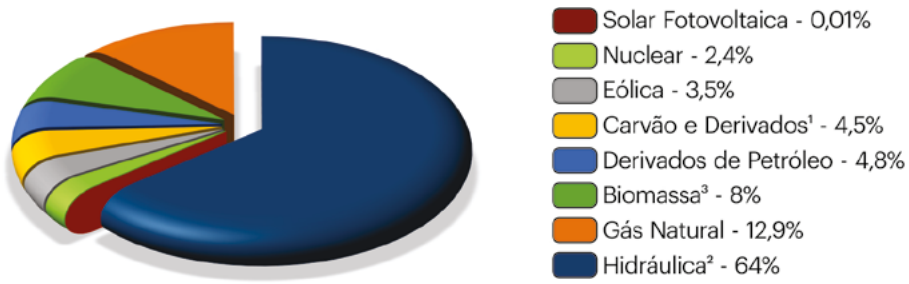
Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
Ruibran Januário dos Reis
Luciano Sathler dos Reis
Joel Gripp Junior
João Francisco de Abreu
Benedito Rocha Vital
Paulo Fernandes Trugilho

O desenvolvimento e a adoção de tecnologias altamente eficientes para a exploração de fontes renováveis de energia limpa são cruciais para se reduzirem os impactos ambientais, minimizar a quantidade de resíduos secundários e, sobretudo, assegurar a sustentabilidade do suprimento de energia, tendo por base os níveis atuais e futuros das demandas econômicas e sociais. Luz e calor são as duas formas primárias de energia solar, sendo absorvidas e convertidas pelo meio ambiente em formas secundárias. Algumas dessas transformações resultam em fontes de energias renováveis, como a biomassa.

A crescente conscientização da sociedade acerca dos efeitos deletérios do aquecimento global, vem forçando os governos das principais economias mundiais a construírem uma agenda comum, para se acelerar a substituição das fontes de energia convencionais por fontes renováveis e para a mitigação da emissão de gases efeito-estufa. Em 2015, a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira foi da ordem de 41,2%, já a participação média mundial é de, 6,7"% (PEREIRA et al., 2012; EPE, 2016; EIA, 2016). Segundo a *BP Statistical Review of World Energy*, o consumo de fontes renováveis de energia no mundo obtiveram um aumento de 2,8% em 2015, aumento considerável se comparado com o ano de 2005, no qual foi observado aumento de apenas 0,8%. Países como China e Alemanha registraram os maiores incrementos, 20,9 e 23,5%, respectivamente.

1.1 CONTEXTO ENERGÉTICO

A recente crise hídrica que assola o Brasil expôs, de forma contundente, a vulnerabilidade de se ter uma matriz energética concentrada na hidroeletricidade – atualmente as usinas hidrelétricas fornecem cerca de 70% da eletricidade consumida no país. (FIGURA 1) (PEREIRA et al., 2012; EPE, 2016).



[1]Inclui gás de coqueria. [2]Inclui importação. [3]Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira no ano de 2015 - Fonte: (EPE, 2016)

Em sua vasta maioria, a energia hidrelétrica é gerada a partir de reservatórios de acumulação de água (*WORLD COMMISSION ON DAMS*, 2000; RIBEIRO et al., 2015), o que mostra sua dependência direta do regime e intensidade da precipitação pluviométrica na respectiva bacia de contribuição.

Em que pesem o aumento da utilização de derivados de petróleo (de 4,4% para 6,4%) e a redução da energia hidráulica (de 70,6% para 66,6%) entre 2013 e 2016, a participação de renováveis na Matriz Elétrica Brasileira subiu de 79,3% para 81,5% devido, principalmente, à intensificação do uso de biomassa e de energia eólica (TABELA 1). Esta última aumentou em cerca de 4,5 vezes sua participação na Matriz Elétrica Brasileira neste mesmo período.

Fonte de Energia	2013	2016
Não-renovável	**20,7%**	**18,5%**
Gás Natural	11,3%	8,4%
Derivados de Petróleo	4,4%	6,4%
Carvão Mineral	2,6%	2,4%
Nuclear	2,4%	1,3%
Renovável	**79,3%**	**81,5%**
Biomassa	7,6%	8,9%
Eólica	1,1%	6,0%
Hidráulica	70,6%	66,6%

Tabela 1 - Participação das fontes na matriz de energia elétrica do Brasil - Fonte: ANEEL (2016)

Em 2015, o consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 464,7 TWh, representando uma queda de 2,1% em relação a 2014 devido, principalmente, à retração de 5,3% no consumo do setor industrial (EPE, 2016). Já a oferta interna de energia elétrica (OIEE) atingiu 615,9 TWh, sendo 1,3% menor que os valores de 2014. A geração hidráulica em 2015, incluindo-se a importação de Itaipu foi responsável por 64% da OIEE (EPE, 2016).

Assim, levando-se em consideração o quadro de mudanças climáticas e a intensificação dos eventos extremos, com destaque para a continuidade do baixo regime de chuvas, urge rever nossa matriz energética, de forma a reduzir a elevada participação da hidroeletricidade, avaliando-se, regionalmente, as opções mais economicamente atrativas, socialmente desejáveis e ambientalmente sustentáveis.

O Brasil desfruta de condições naturais privilegiadas para a produção de biomassa, a saber:

- grande extensão territorial, aproximadamente 8,5 × 106 km², dos quais cerca de 9% (76,6 milhões ha) estão ocupados por culturas anuais perenes e florestas plantadas, dispondo-se ainda de mais 12% (102 milhões ha) para o estabelecimento de novas lavouras (BUENO et al., 2015);

• clima tropical (precipitação média anual de 1.997 ± 504 mm e temperatura média de 24,4 ± 3,2º C), com elevada incidência de radiação solar - variando de 4.500 a 6.300 $W.h.m^{-2}.dia^{-1}$, decorrente de sua localização geográfica, que se estende de 10º N a 30º S (PEREIRA et al., 2006; HIJMANS et al., 2006; ALVARES et al., 2013);

• grande variedade de espécies nativas e exóticas com alto potencial para produção de biomassa energética, isto é, algodão, amendoim, coco, dendê, eucalipto, girassol, macaúba, mamona, milho e soja (GAZZONI, 2006);

• sólido conhecimento científico e tecnológico sobre agricultura dos trópicos, resultantes do desenvolvimento de programas de silvicultura clonal (eucalipto, pinus) e de melhoramento genético de culturas agrícolas (soja, milho), permitindo ganhos expressivos de produtividade.

Ademais, o país dispõe de políticas públicas voltadas para consolidação e aumento da participação de fontes renováveis em sua matriz energética (PEREIRA Jr. et al., 2011; PEREIRA Jr. et al., 2013), destacando-se os investimentos em pesquisas (estudos econômicos, zoneamento edafoclimático, melhoramento genético, logística de transporte) para aumentar a competitividade da agricultura de energia no mercado internacional (GAZZONI, 2006; FERREIRA-LEITÃO et al., 2010; ALVARES et al., 2013).

A utilização da biomassa como fonte de energia renovável tem sido um desafio para países em desenvolvimento (FREPPAZ et al., 2004). A principal exigência para a produção dedicada à bioenergia é a disponibilidade de terra e de água. Consequentemente, a competição com a produção de alimentos é um aspecto crucial para se determinar, com segurança, o potencial atingível para a produção de bioenergia (FISCHER e SCHARTTENHOLZER, 2001; VOIVONTAS et al., 2001; PEREIRA Jr. et al., 2013). Isto explica o crescente interesse nos estudos acerca do uso de resíduos agrícolas para a produção de energia renovável (RANTA, 2005; LORA e ANDRADE, 2009; MIURA et al., 2011).

A biomassa para produção de energia, quanto à sua origem, enquadra-se nas seguintes categorias (EPE, 2008):

• florestal (produtos, subprodutos e resíduos);

• agrícola (culturas energéticas dedicadas, subprodutos e resíduos);

• resíduos urbanos.

A disponibilidade de biomassa para projetos de produção de energia apresenta elevada dependência espacial, dada a grande diversidade edafoclimática do território brasileiro. Isso implica que a lucratividade de uma usina estará fortemente ligada à sua localização. As plantas de bioenergia requerem uma quantidade adequada de biomassa para satisfazere o menor custo possível aos níveis projetados de demanda (PANICHELLI e GNANSOUNOU, 2008). Consequentemente os custos de transporte são de importância fundamental para qualquer projeto de energia da biomassa, devido as suas característi-

cas intrínsecas, em que se destaca a baixa densidade energética quando comparada à de combustíveis fósseis. Logo, os projetos de bioenergia são particularmente sensíveis a esta variável. O estabelecimento de usinas de energia de biomassa em locais estratégicos, de modo a minimizar os custos de transporte, é um dos pilares da economia de biocombustíveis, ditando sua sustentabilidade (TENERELLI e MONTELEONE, 2008; KHACHATRYAN et al., 2010; SULTANA e KUMAR, 2012; PEREIRA Jr. et al., 2013).

Assim, é imprescindível dispor de uma base de dados confiáveis, contemplando a distribuição espacial e temporal da oferta de biomassa. O estado de Minas Gerais, com os recentes avanços técnico-científicos na área de geração de bioeletricidade, chama para si a responsabilidade de promover a segurança energética necessária ao crescimento de suas indústrias, ao mesmo tempo em que almeja a redução das disparidades socioeconômicas regionais, sem se descuidar das questões ambientais. O presente estudo teve por objetivo, produzir o Atlas de Biomassa de Minas Gerais. Os dados coletados e gerados, com relação a caracterização geográfica, área plantada, produção e potencial energético, serão apresentados em seguida.

Foto: Omar Vanello

2

AGROMETEOROLOGIA DE MINAS GERAIS

Ruibran Januário dos Reis
Daniel Perreira Guimares
Luciano Sathler dos Reis
João Francisco de Abreu
Viviane Augusta Pascoal
Lilianne Aparecida Lopes de Oliveira
Iann Gomes Rodrigues da Fonseca

Minas Gerais, em função de sua localização geográfica, relevo, continentalidade, variabilidade de biomas e fitofisionomias, apresenta condições termodinâmicas que resultam em diferentes regimes de chuvas. As regiões Norte e do Vale do Jequitinhonha apresentam baixos índices pluviométricos com grandes impactos socioeconômicos e culturais. A migração da população mais jovem em busca de oportunidades em outras regiões do país, principalmente nas plantações de cana-de-açúcar e na construção civil, é resultante dos riscos climáticos que dificultam a sobrevivência da população nas áreas rurais. Por outro lado, a excelente distribuição pluviométrica verificada em algumas regiões contribui para a grande vocação agrícola e pecuária de Minas Gerais.

As chuvas incidentes na região são responsáveis pela formação de importantes bacias hidrográficas que se originam em Minas Gerais, como a do São Francisco, Rio Paraná (Rio Grande), Atlântico Sudeste (Rio Doce) e Atlântico Leste (Rio Jequitinhonha).

A caracterização dos índices pluviométricos é de grande importância para a busca de soluções referentes à falta ou ao excesso das chuvas, bem como para a definição das melhores alternativas de uso dos recursos hídricos em prol da comunidade.

2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O estado de Minas Gerais é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Com uma área de 586.528 km^2, ocupa o quarto lugar no país em extensão territorial. Situa-se entre 14°13'58" e 22°54'00" de latitude sul (os paralelos são 14° e 22°) e 39°51'32" e 51°02'35 de longitude a oeste de Greenwich. De acordo com o censo de 2010 efetuado pelo IBGE, o estado conta atualmente com uma população de 19.159.260 habitantes distribuídos em 853 municípios sendo que apenas 176 contam com populações superiores a 20.000 habitantes e 12 com populações superiores a 200.000 habitantes. Belo Horizonte, apresenta uma população de 2.258.096 e é hoje a sexta cidade mais populosa do país. Situada na região Sudeste do Brasil, Minas Gerais tem como estados limítrofes a Bahia ao norte e nordeste, Espírito Santo a leste, Rio de Janeiro a sudeste, São Paulo ao sul e sudeste, Mato Grosso do Sul a oeste, Goiás e Distrito Federal a noroeste. A distância linear entre os pontos extremos do estado é de 986 km no sentido norte-sul e de 1.248 km no sentido leste-oeste. As divisões regionais envolvem 12 mesorregiões (Campo das Vertentes, Central Mineira, Jequitinhonha, Metropolitana de Belo Horizonte, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata) e 66 microrregiões. A posição geográfica do estado, aliada ao fator de continentalidade, contribui para a determinação dos sistemas regionais de circulação atmosférica que determinam as condições climáticas locais. As Figuras 2 e 3 mostram a localização geográfica do Brasil e de Minas Gerais.

Figura 2 - Brasil - Fonte: Os autores

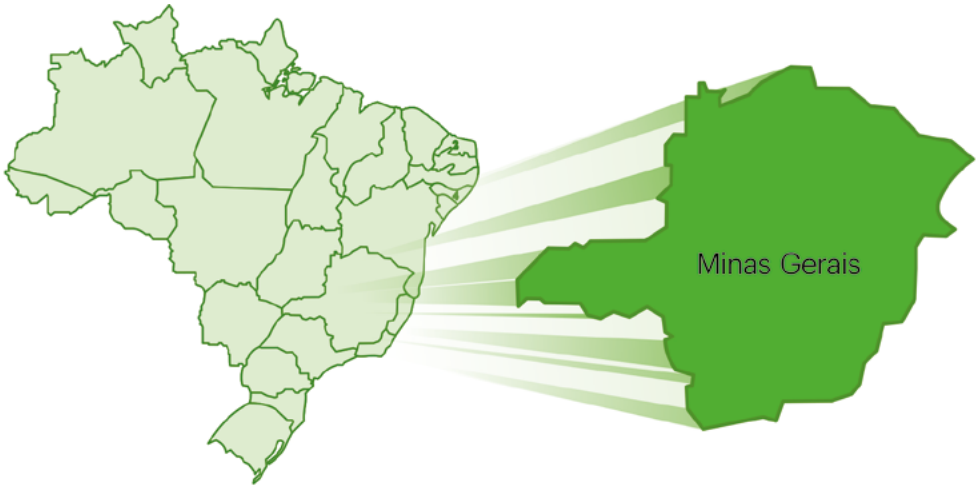
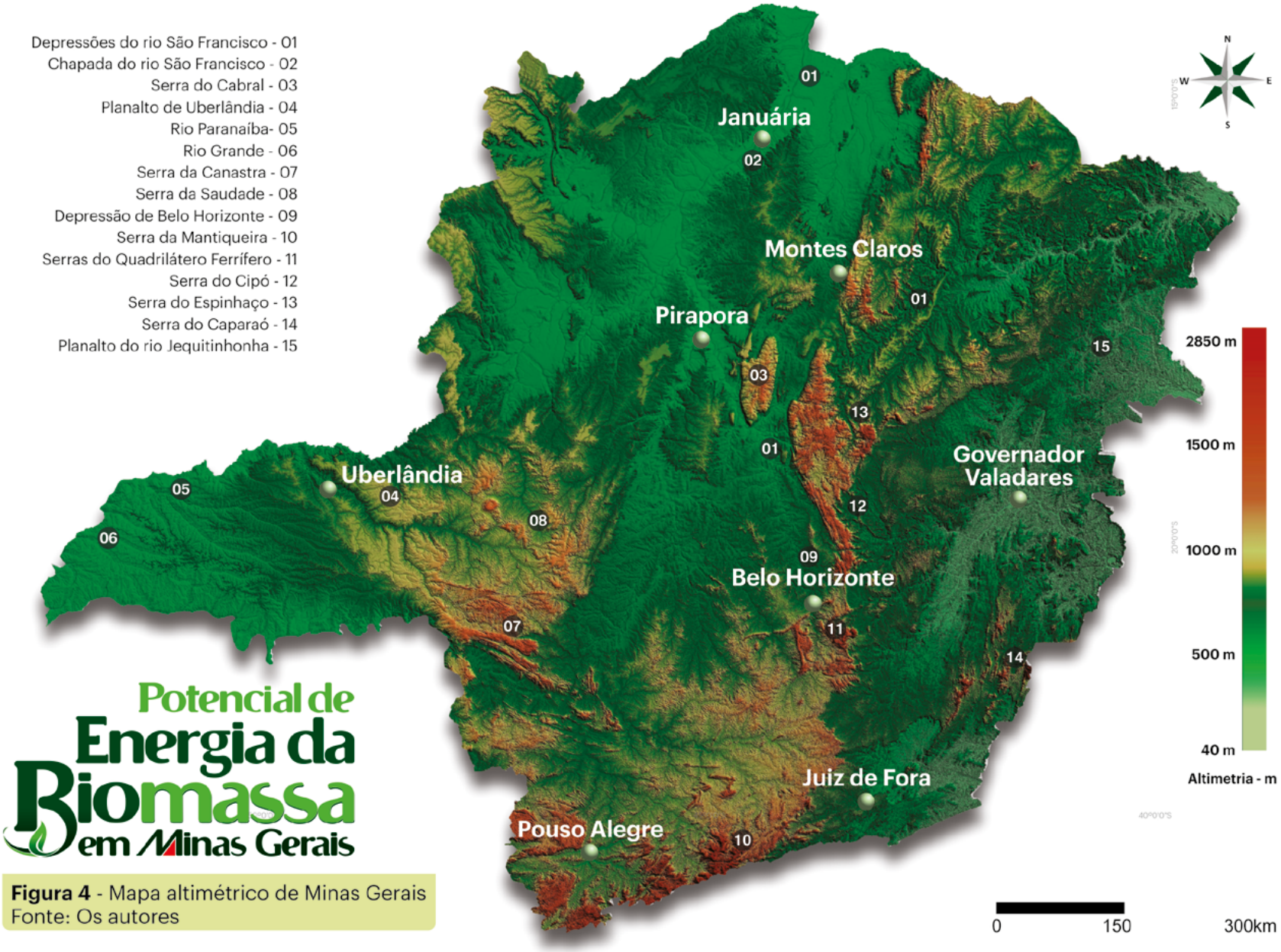


Figura 3 - Localização do estado de Minas Gerais - Fonte: Os autores

2.1.1 RELEVO

Além da posição geográfica e da situação em relação ao nível do mar (continentalidade), o relevo constitui outro fator estático de grande influência na climatologia do estado. Conhecida como "Terra das Alterosas" em função de seu relevo acidentado, Minas Gerais tem uma topografia de grande diversidade morfológica, apresentando vales formados pelas bacias hidrográficas, planaltos cristalinos e áreas serranas. A Figura 4 mostra o relevo do estado de Minas Gerais representado por imagens geradas pelo SRTM-3 (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA.

A Serra do Espinhaço estende-se desde o município de Ouro Branco em Minas Gerais, até Xique-Xique na Bahia, onde recebe a denominação de Chapada Diamantina. O chamado Quadrilátero Ferrífero, situado na região do Espinhaço Meridional, engloba 34 municípios. Essa área, que tem a maior densidade populacional do estado, teve enorme importância socioe-



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 4 - Mapa altimétrico de Minas Gerais
Fonte: Os autores

conômica na formação da nação brasileira. Durante o século XVIII, cerca da metade do ouro produzido no mundo era proveniente dessa região e atualmente são exploradas as enormes jazidas de minério de ferro. A região abriga importantes cidades, como a capital Belo Horizonte, Ouro Preto, Mariana, Congonhas, Sabará, João Monlevade e Itabira. O relevo, denominado "mar de morros", apresenta importantes serras, como as do Curral, em Belo Horizonte, do Caraça, do Rola Moça, da Piedade, do Itacolomi, da Moeda, do Mascate e a Serra Azul. Na região setentrional, as mais conhecidas são as Serras do Cipó, Itambé, do Cabral e a Serra Geral. Na Serra do Cipó localiza-se a famosa cachoeira do Tabuleiro, cujos 273 metros de queda livre fazem dela a maior do estado e a terceira cachoeira mais alta do Brasil.

A Serra da Mantiqueira - denominação tupi que significa *"serra que chora"* e que se justifica pelo grande número de nascentes ali existentes - estende-se pelas divisas de Minas Gerais com os estados de São Paulo e Rio de Janeiro e penetra no interior do estado até as cercanias de Barbacena. Integra o ecossistema da Mata Atlântica com uma riquíssima biodiversidade. Na região do Parque Nacional do Itatiaia, divisa entre os municípios de Resende, RJ, e Itamonte, MG, está o Pico das Agulhas Negras, com 2.787 metros de altitude. Outro ponto culminante nessa região é o Pico da Pedra da Mina (2.770 metros de altitude) entre os municípios de Queluz, SP, e Passa Quatro, MG.

A Serra da Canastra, localizada no sudoeste de Minas Gerais, tem esse nome devido às suas características fisiográficas abauladas. Local da nascente do Rio São Francisco, é famosa pela biodiversidade, pelo clima e pelas inúmeras cachoeiras ali existentes, como a imponente Casca D'Antas, com seus 186 metros de altura.

A Serra do Caparaó localiza-se na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo e tem o Pico da Bandeira (2.892 metros) como ponto culminante. Até a identificação dos Picos da Neblina e 31 de Março, na Serra do Imeri, divisa do Brasil com Venezuela, o Pico da Bandeira era considerado o ponto mais elevado do território brasileiro. O Pico do Cristal, no município de Caparaó, com 2.798 metros de altura, é o quarto ponto mais alto do Brasil.

Além das áreas montanhosas, o estado apresenta também áreas de planaltos e as depressões formadas pelos vales dos Rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul.

2.1.2 SOLO

O solo constitui a camada superficial da crosta terrestre e apresenta alta variabilidade em função do material de origem, do intemperismo climático e da atuação de seres vivos. A ação e a interação desses agentes transformadores determinam o tipo de perfil dos solos, normalmente resultando em camadas denominadas de horizontes. Os espaços vazios entre as partículas do solo são chamados de poros e são responsáveis pelos índices de aeração e retenção da água infiltrada após a ocorrência de chuvas. A capacidade de retenção de água pelos solos depende da textura, estrutura, profundidade e teor de matéria orgânica. Por se tratar de uma estrutura aberta para a atmosfera e as camadas mais profundas do subsolo, a água nesse ambiente apresenta-se em constante processo de mudança. A dinâmica dos fluxos de água no solo é analisada pelos modelos denominados de pedotransferência. Após atingir o ponto de saturação, em que os poros são preenchidos pela água de infiltração, iniciam-se os processos de escoamento superficial (enxurradas) e percolação para as camadas mais profundas que irão abastecer os lençóis subterrâneos. Figura 5 mostra os tipos de solos em Minas Gerais.

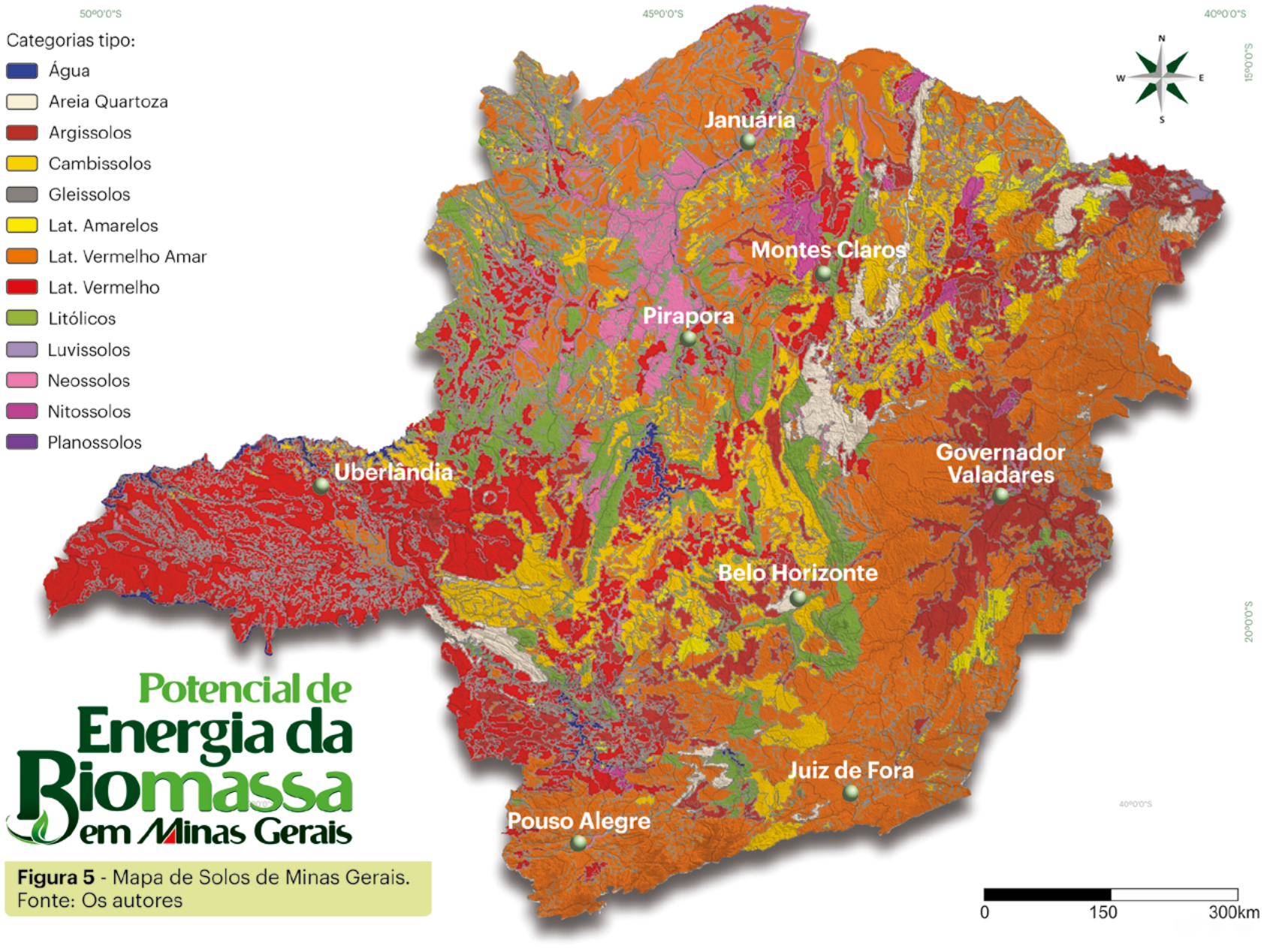


Figura 5 - Mapa de Solos de Minas Gerais.
Fonte: Os autores

2.1.3 HIDROGRAFIA

Importantes bacias hidrográficas estão localizadas em Minas Gerais. A Bacia do São Francisco drena as águas de uma área equivalente à metade do estado, compreendendo as regiões Norte, Noroeste, Central, Oeste e Metropolitana de Belo Horizonte. Além do Rio São Francisco, são importantes formadores da bacia hidrográfica os Rios Pará, Paraopeba, das Velhas, Paracatu e Verde Grande. As sub-bacias dos Rios Grande e Paranaíba são as formadoras iniciais da Bacia do Paraná, principal fonte de energia elétrica do país. No estado, localizam-se no Rio Grande as represas de Camargos, Itutinga, Funil e Furnas, no Rio Paranaíba a represas de Emborcação, Itumbiara, Cachoeira Dourada e São Simão e no Rio Araguari as represas de Nova Ponte, Miranda, Capim Branco. São drenadas as águas provenientes de uma pequena porção da Zona da Mata e das regiões de Campo das Vertentes, Sul/Sudoeste de Minas, partes das regiões Oeste e Triângulo/Alto Paranaíba. A Bacia do Rio Paraíba do Sul, cujas nascentes principais se encontram em áreas de relevo acidentado das serras da Mantiqueira e do Mar, estende-se pelas regiões mais industrializadas e povoadas do Brasil, abrangendo o Vale do Paraíba Paulista, a Zona da Mata de Minas Gerais e grande parte do Estado do Rio de Janeiro. A Bacia do Rio Doce, cujas nascentes se localizam na Serra da Mantiqueira, é a principal bacia hidrográfica totalmente inserida na região Sudeste do Brasil e sua rede de drenagem inclui parte da Zona da Mata, Região Metropolitana de Belo Horizonte e Vale do Rio Doce. O Rio Doce constitui também o mais importante recurso de água doce do Espírito Santo, onde deságua no Atlântico. A Bacia do Rio Jequitinhonha tem suas nascentes na Serra do Espinhaço e se estende pelo Vale do Jequitinhonha, uma das regiões mais pobres do país, e parte do Estado da Bahia. O Rio Araçuaí é o afluente mais importante do Jequitinhonha. O desmatamento e o garimpo causam enormes danos ambientais nessa bacia hidrográfica. A Bacia do Rio Mucuri abrange apenas 13 municípios, sendo os mais importantes Teófilo Otoni, Carlos Chagas e Nanuque. Outras bacias ocorrentes no estado são as dos Rios Buranhém, Itabapoana, Itanhém, Itapemiririm, Jucuruçu, Pardo, Piracicaba/Jaguari e São Mateus.

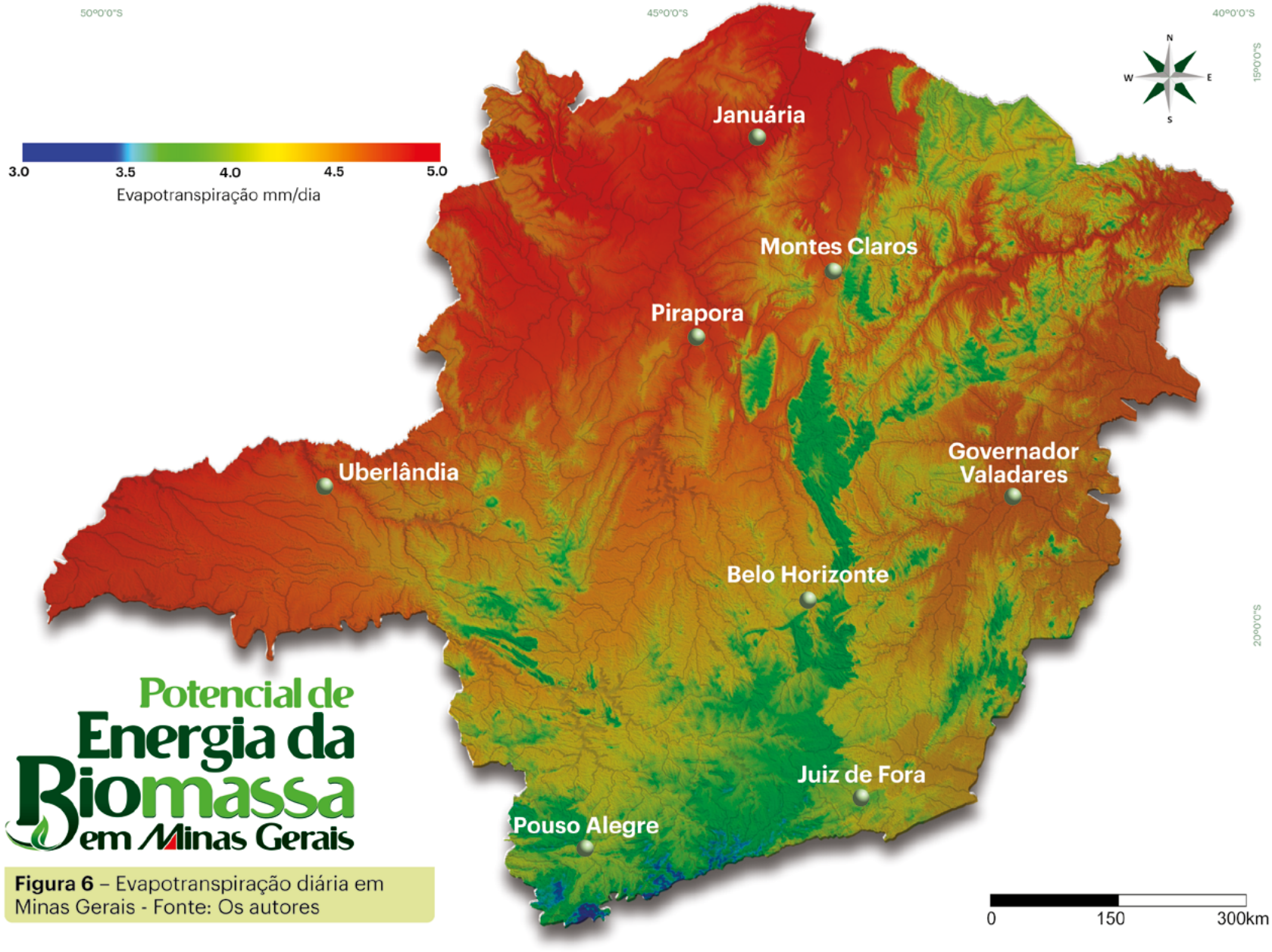
2.1.4 VEGETAÇÃO

As condições climáticas, o relevo e as condições edáficas (solos) determinam diferentes tipos de vegetação em Minas Gerais. O bioma Cerrado, com suas diferentes fitofisionomias, constitui a principal tipologia vegetal ocorrente e está associado às áreas de chapadas e dos latossolos com altos teores de alumínio e baixa fertilidade natural. São espécies típicas desse tipo de vegetação: o pequi (*Caryocar brasiliense*), o araticum (*Anonna crassifolia*), o barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), o pau-terra (*Qualea grandiflora*), o buriti (*Mauritia flexuosa*) e a cagaita (*Eugenia dysenterica*). De acordo com as dimensões das árvores e a densidade de plantas por unidade de área, a vegetação recebe diferentes denominações como Cerradão, Cerrado (*stricto sensu*) e Campo Sujo. Outras características marcantes das áreas com esse tipo de vegetação são a alta incidência de incêndios no período de estiagem e o desmatamento para a produção de carvão vegetal. Verifica-se frequentemente a abertura de áreas para exploração agrícola, pecuária ou para as atividades de reflorestamento.

A Mata Atlântica constitui outro importante bioma ocorrente em Minas Gerais, porém, a exemplo do que acontece com os demais biomas, vem sofrendo forte depredação. Ocorre principalmente na região Leste do estado e é caracterizada pelo alto índice de espécimes endêmicas da fauna e flora. Originalmente ocupava a segunda maior área de vegetação do estado, mas atualmente se restringe a pequenos fragmentos florestais, exceto no Parque do Rio Doce, onde ainda se encontra preservada uma área de cerca de 37 mil hectares. As áreas de Caatinga e Florestas Semidecíduas das regiões Norte de Minas são caracterizadas pela transição para o clima semiárido, com a ocorrência de altas temperaturas, precipitação média anual inferior a 1.000 mm e estação seca pronunciada. Os Campos Rupestres de Altitude ocorrem principalmente em cotas acima de 900 metros e são encontrados sobretudo nas serras do Espinhaço e da Canastra. Levantamento realizado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) e Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG) indicou a seguinte proporção de áreas vegetadas em relação à área do estado: Cerrado (13,72%), Mata Atlântica (0,40%), Floresta Decídua (2,84%), Caatinga (9,29%), Campos Rupestres (1,05%), campos (6,41%), reflorestamentos (2,07%).

2.1.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração diária anual é maior nas regiões do Triângulo, Norte, Noroeste, nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce. Os maiores valores diários ocorrem nos meses de outono e primavera, quando o ar se encontra mais seco nestas regiões. A Figura 6 mostra a estimativa diária da evapotranspiração diária em Minas Gerais.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 6 – Evapotranspiração diária em Minas Gerais - Fonte: Os autores

2.2 CLIMATOLOGIA DE MINAS GERAIS

2.2.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN

Embora tenha sido proposto há mais de um século, o sistema de classificação climática de Köppen, por sua robustez e facilidade de uso, ainda continua sendo largamente utilizado em todo o mundo, tornando-se um poderoso instrumento para nos ajudar a compreender melhor o ambiente que nos cerca (PEEL et al., 2007). Esse sistema utiliza apenas variáveis climáticas (temperatura e precipitação pluviométrica) e geográficas (altitude e latitude), de fácil obtenção, para definir zonas climáticas homogêneas (TABELA 2)

Com base nestes dados, a temperatura média dos 853 municípios Minas Gerais, pode observar que a média é igual a 20,83 ± 0,04 °C, a precipitação total anual média foi de 1.325,5 ± 2,2 mm e, a altitude média, 733,7 ± 1,2 m. Estas médias foram ponderadas pelas áreas dos municípios. As seis zonas climáticas de Köppen para Minas Gerais são apresentadas na (TABELA 3).

Analisando-se Tabela 3 observa-se que Minas Gerais está igualmente dividida em dois tipos climáticos: A – tropical (49,9%) e Cw – subtropical úmido com inverno seco (49,5%). Os 0,6% restantes do estado estão sob o domínio do clima Cf (subtropical úmido oceânico sem estação seca). Os 853 municípios foram então agrupados de acordo com a zona climática a que pertencem, dissolvendo-se os limites internos de seus perímetros. A Figura 7 mostra os tipos climáticos segundo a classificação de Koppen em Minas Gerais.

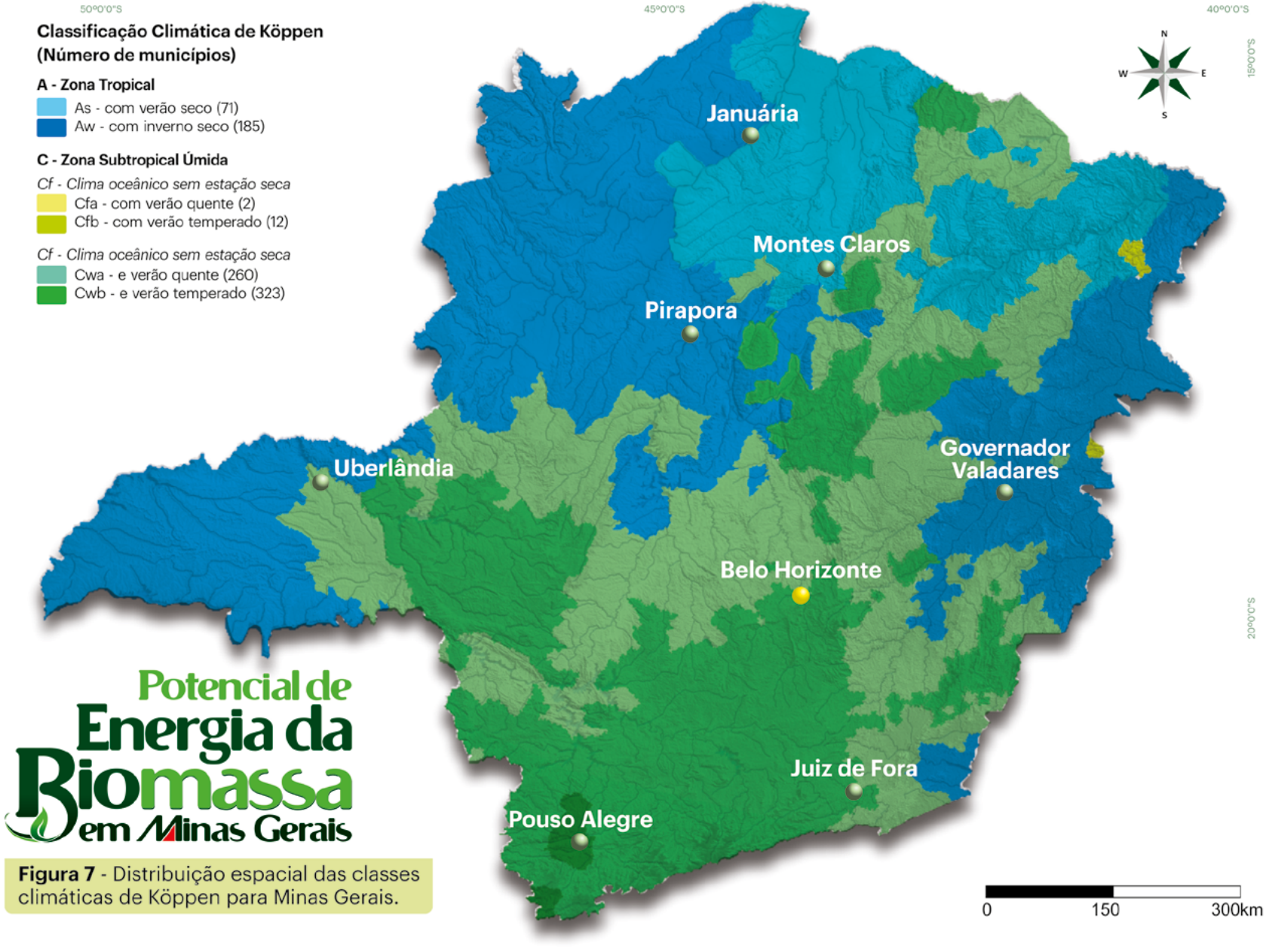
Temperatura			Precipitação		Clima			Símbolo
T_F	T_Q	T_{Ano}	$P_{Mês}$	P_{Ano}				
≥ 18º C			P_S ≥ 60mm		(A) Tropical		(f) sem estação seca	Af
			P_S < 60mm	≥ 25 x (100 - P_S)			(m) monção	Am
				< 25 x (100 - P_{SV})			(s) com verão seco	As
				< 25 x (100 - P_{SI})			(w) com inverno seco	Aw
		≥ 18º C		≥ 5 x P_{LIM}	(B) Seco	(S) Semiárido	(h) lat. e altitude	BSh
		< 18º C		< 10 x P_{LIM}			(k) lat. média e Altitude alta	BSk
		≥ 18º C		> 5 x P_{LIM}		(W) Árido	(h) lat. e altitude baixas	BWb
		< 18º C					(k) lat. média e altitude alta	BWk
≥ -3º C & < 18º C	≥ 22º C		P_S > 40mm		(C) Subtropical Úmido	(f) Oceânico sem estação seca	(a) com verão quente	Cfa
	< 22º C & T_{M10} ≥ 4						(b) com verão temperado	Cfb
≥ -38º C & < 18º C	< 22º C & 1 ≤ T_{M10} < 4						(c) com verão curto e frio	Cfc
≥ -3º C & < 18º C	≥ 22º C		P_S > 40mm			(w) com inverno seco	(a) e verão quente	Cwa
	< 22º C & T_{M10} ≥ 4		P_{UV} < 40mm x P_{SI}				(b) e verão temperado	Cwb
> -38º C & < 18º C	< 22º C & 1 < T_{M10} < 4						(c) e verão curto e frio	Cwc
> -3º C & < 18º C	> 22º C		P_S < 40mm			(s) com verão seco	(a) e quente	Csa
	> 22º C & T_{M10} > 4		P_{UI} ≥ 40mm x P_{SV}				(b) e temperado	Csb
> -38º C & < 18º C	< 22º C & 1 ≤ T_{M10} < 4		P_{UV} < 10 x P_{SI}				(c) e curto e frio	Csc
≥ -38º C & < -3º C	≥ 22º C		P_S > 40mm		(D) Continental	(f) sem estação seca	(a) com verão quente	Dfa
	< 22º C & T_{M10} ≥ 4						(b) com verão temperado	Dfb
< -38º C & < -3º C	< 22º C & 1 ≤ T_{M10} < 4						(c) com verão curto e frio	Dfc
							(d) com inverno muito frio	Dfd
> -38º C & < -3º C	> 22º C		P_S > 40mm			(w) com inverno seco	(a) e verão quente	Dwa
	> 22º C & T_{M10} > 4						(b) e verão temperado	Dwb
> -38º C & < -3º C	< 22º C & 1 ≤ T_{M10} < 4		P_{UV} > 10 x P_{SI}				(c) e verão curto e frio	Dwc
							(d) e muito frio	Dwd
≥ -38º C & < -3º C	≥ 22º C		P_S > 40mm			(s) com verão seco	(a) e quente	Dsa
	< 22º C & T_{M10} ≥ 4		P_{UI} ≥ 3 × P_{SV}				(b) e temperado	Dsb
< -38º C & < -3º C	< 22º C & 1 ≤ T_{M10} < 4		P_{UV} < 10 x P_{SI}				(c) e curto e frio	Dsc
							(d) e inverno muito frio	Dsd
	< 10º C & ≥ 0º C				(E) Glacial ou Polar			ET
	< 0º C							EF

Tabela 2 - Critérios de temperatura e precipitação segundo a classificação climática de Köppen

T_F = Temperatura do mês mais frio; T_Q = Temperatura do mês mais quente; T_{ano} = Temperatura média anual; P_{mes} = Precipitação mensal; P_{ano} = Precipitação anual; P_S = Precipitação do mês mais seco; P_{SV} = Precipitação do mês mais seco do verão; P_{SI} = Precipitação do mês mais seco do inverno; P_{UV} = Precipitação do mês mais úmido do verão; P_{UI} = Precipitação do mês mais úmido do inverno; T_{M10} = nº de meses com temperaturas acima de 10°C; T_{Lim} = limiar definido pela equação 1; Para o hemisfério sul, o verão é definido como o período dos 6 meses mais quentes (ONDJFM) e, o inverno, como o período dos 6 meses mais frios (AMJJAS); para o hemisfério norte, o verão vai de abril a setembro (AMJJAS) e o inverno, de outubro a março (ONDJFM).

Clima	Municípios	Km²	%	Temperatura	Precipitação Anual	Altitude Média
As	71	78.873,9	13,3	22,1	929,4	634,8
Aw	185	217.753,9	36,6	22,1	1.306,2	587,2
Cfa	2	759,6	0,1	20,9	1.021,8	683,7
Cfb	12	3.074,0	0,5	17,5	1.597,2	1.069,0
Cwa	260	152.956,3	25,8	20,4	1.365,5	760,1
Cwb	323	140.578,0	23,7	18,7	1.529,8	980,3

Tabela 3 - Características das zonas climáticas de Köppen para o Estado de Minas Gerais



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 7 - Distribuição espacial das classes climáticas de Köppen para Minas Gerais.

2.2.2 PRECIPITAÇÃO

As nuvens que causam precipitações em Minas Gerais são originárias de processos orográficos, convectivos e frontais. Segundo Rogers (1977), uma nuvem é um agregado de pequeníssimas gotas, num número aproximado de 100 por centímetro cúbico, com raio da ordem de 100 micrômetros. A nuvem é resultado da expansão e consequente resfriamento do ar ascendente.

Da experiência de observadores - principalmente de Luke Howard (1803) - que examinaram a aparência das nuvens vistas do solo, surgiu a classificação internacional das nuvens em baixas, médias e altas, feita pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), em 1956. A Tabela 4, mostra a classificação das nuvens segundo a OMM.

Região	Trópicos	Latitudes Médias	Polar
Nuvem alta	6 a 8 km	5 a 13 km	3 a 8 km
Nuvem média	2 a 8 km	2 a 7 km	2 a 4 km
Nuvem baixa	0 a 2 km	0 a 2 km	0 a 2 km

Tabela 4 - Classificação das nuvens segundo a altura da base (OMM)

A Figura 8 mostra os diferentes tipos de nuvens, com suas altitutes e profundidades.

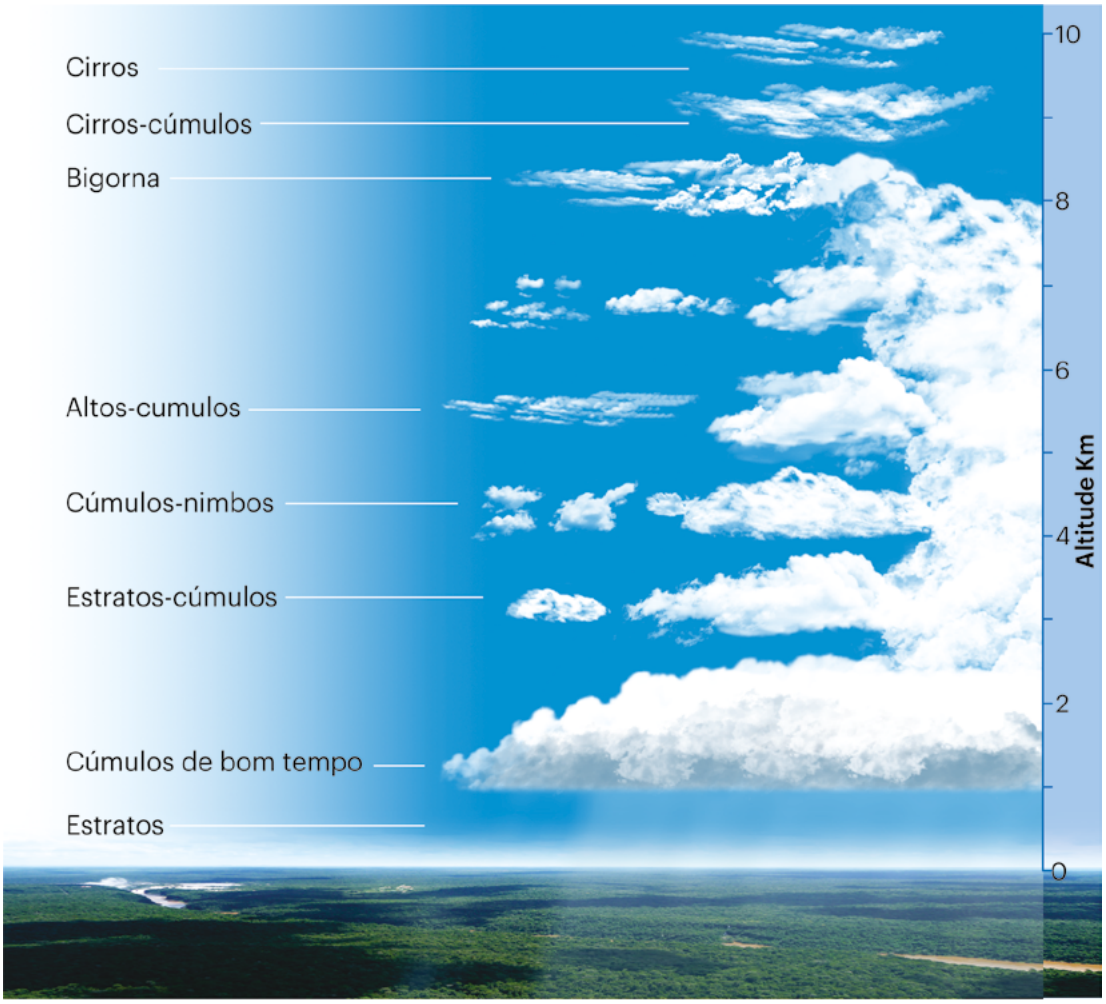


Figura 8 - Ilustração dos vários tipos de nuvens - Fonte: Linacre and Geerts (1977)

Processo frontal ou de levantamento gradual estendido

Quando o ar quente é forçado a subir sobre uma rampa frontal, dá origem a extensas e profundas camadas de nuvens altostratos e nimbostratos. Sua extensão é muito grande, pois a sua dinâmica de formação tem escala sinótica. Esse processo de formação de nuvens, representado na Figura 9, não é muito comum em latitudes baixas.

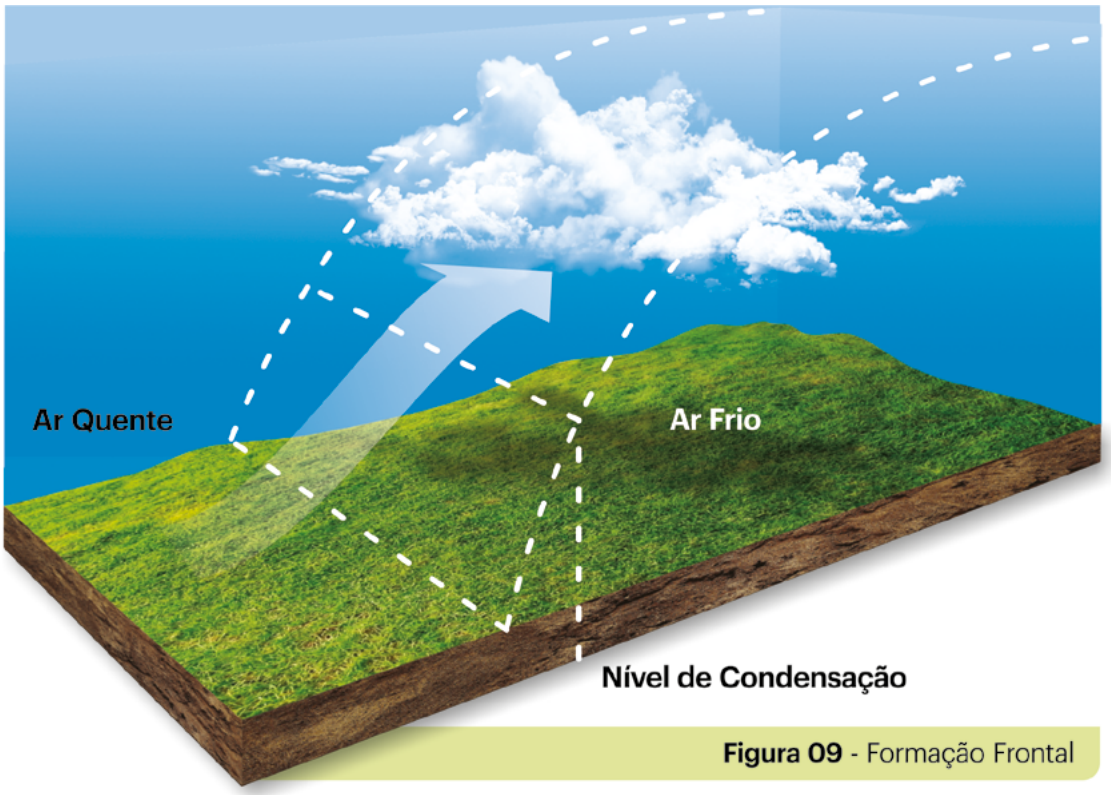


Figura 09 - Formação Frontal

Processo convectivo

As nuvens convectivas surgem do aquecimento diurno do solo ou de uma massa de ar frio que se desloca sobre uma superfície quente. Normalmente, esse processo dá origem a nuvens chamadas de cumuliformes, que vão desde os cúmulos de bom tempo até os cúmulos-nimbos. A Figura 10 mostra esse tipo de processo de formação.

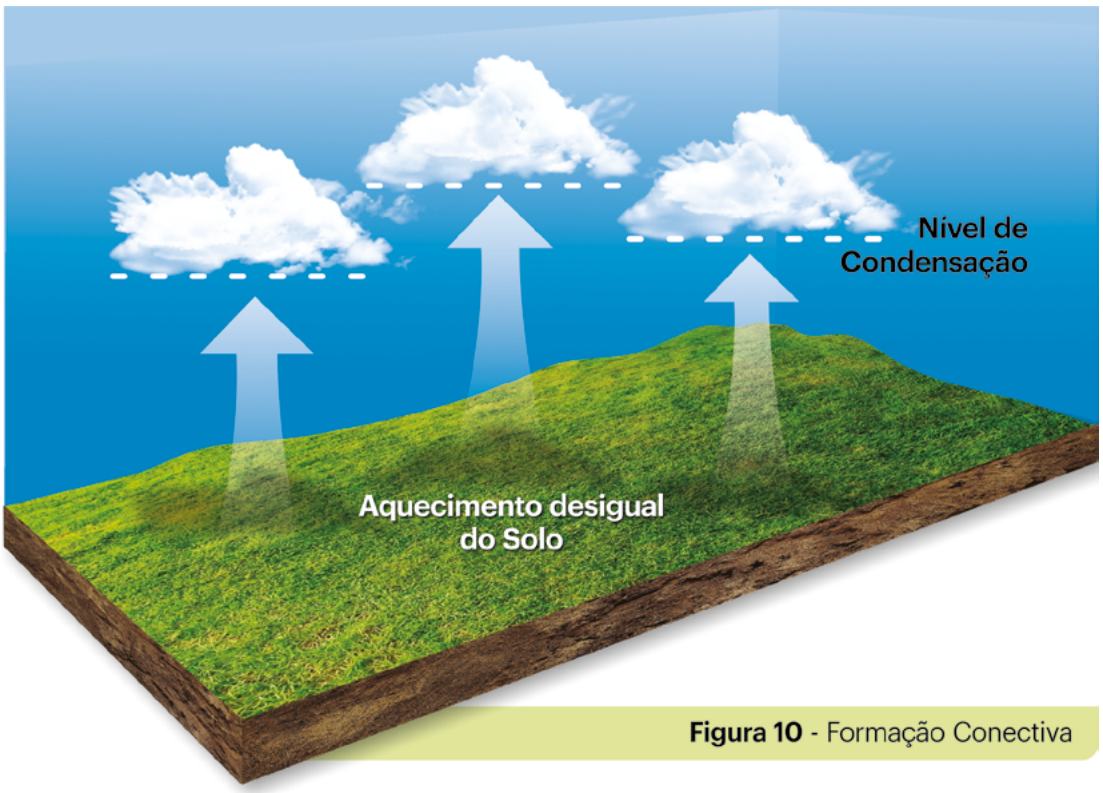


Figura 10 - Formação Conectiva

Processo orográfico

Quando uma massa de ar quente e úmida é forçada a subir uma barreira montanhosa, o esfriamento do ar dá origem, principalmente, a nuvens do tipo estratiforme; caso o levantamento seja profundo, formam-se nuvens cumuliformes.

Quando o levantamento da massa de ar está associado a perturbações de escala sinótica, não é necessário que as montanhas tenham grandes altitudes para a formação de nuvens cumuliformes. A Figura 11 mostra o processo orográfico.

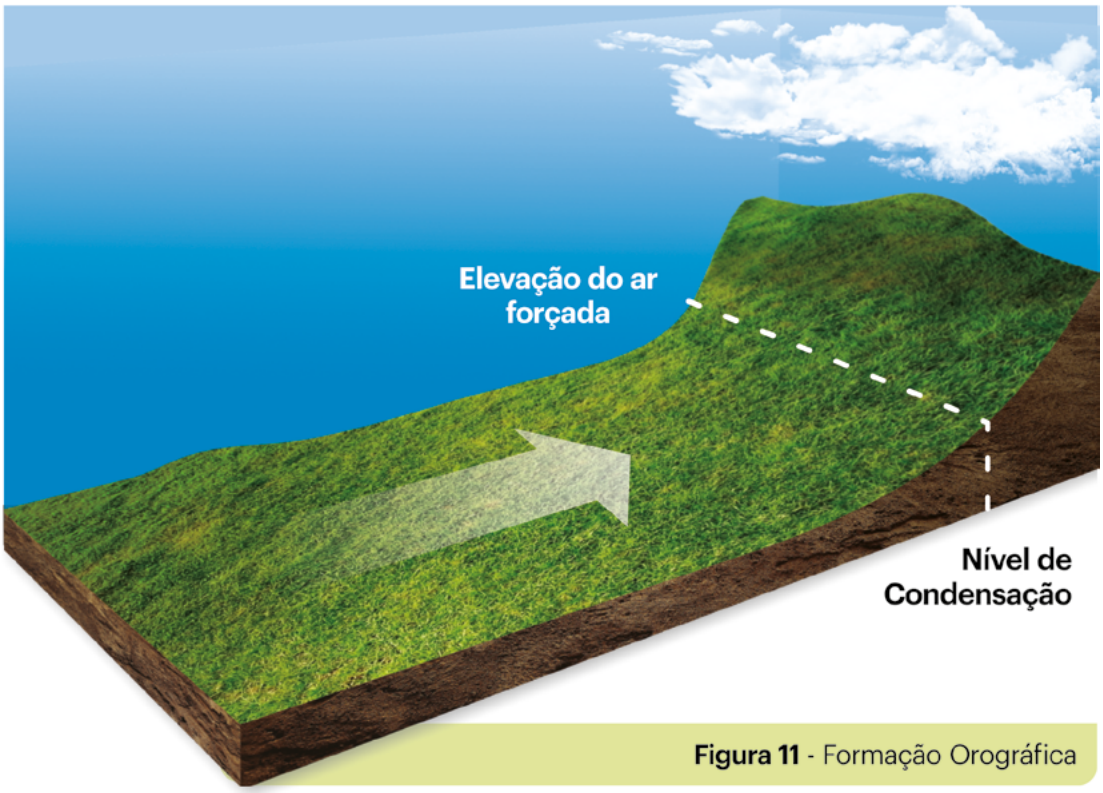


Figura 11 - Formação Orográfica

2.2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA

A distribuição unimodal das chuvas em Minas Gerais permite o ajuste de distribuições probabilísticas para as análises de tendência das distribuições. Embora a distribuição Gama tenha sido frequentemente usada para descrever as tendências de precipitação, Catalunha et al. (2002) mostram que a distribuição Weibull apresenta melhor aderência aos dados de precipitação no Estado de Minas Gerais em comparação aos modelos exponencial, gama, log-normal e normal.

A função Weibull (1951) foi selecionada para ajustar as tendências de distribuição mensal das chuvas, em função de sua alta flexibilidade e reduzido número de parâmetros. Optou-se pelo modelo de 3 parâmetros pelo fato de as chuvas serem escassas no período de inverno. Sua forma derivativa é dada pela equação 1:

Equação 1

$$f(x) = \omega * \beta * \gamma * \chi^{(\gamma-1)} * (e(-\beta * \chi^{\gamma}))$$

Na função, **f(x)** representa a precipitação esperada no período (no caso = precipitação mensal), ω refere-se ao parâmetro assintótico (representando a precipitação média anual), β corresponde à taxa de expansão da distribuição, γ é o parâmetro definidor do ponto de inflexão que irá determinar o grau de assimetria da distribuição, χ corresponde ao mês do ano e e à base dos logaritmos neperianos.

O início e o final do ciclo das chuvas foram definidos considerando-se o ponto em que a taxa instantânea de precipitação determinada pela função Weibull atingisse 100 mm/mês.

A espacialização dos ciclos das chuvas em Minas Gerais foi efetuada usando-se o procedimento geoestatístico de krigagem ordinária simples. As Figuras 12, 13 e 14 mostram o período de início, término e duração do período chuvoso em Minas Gerais.

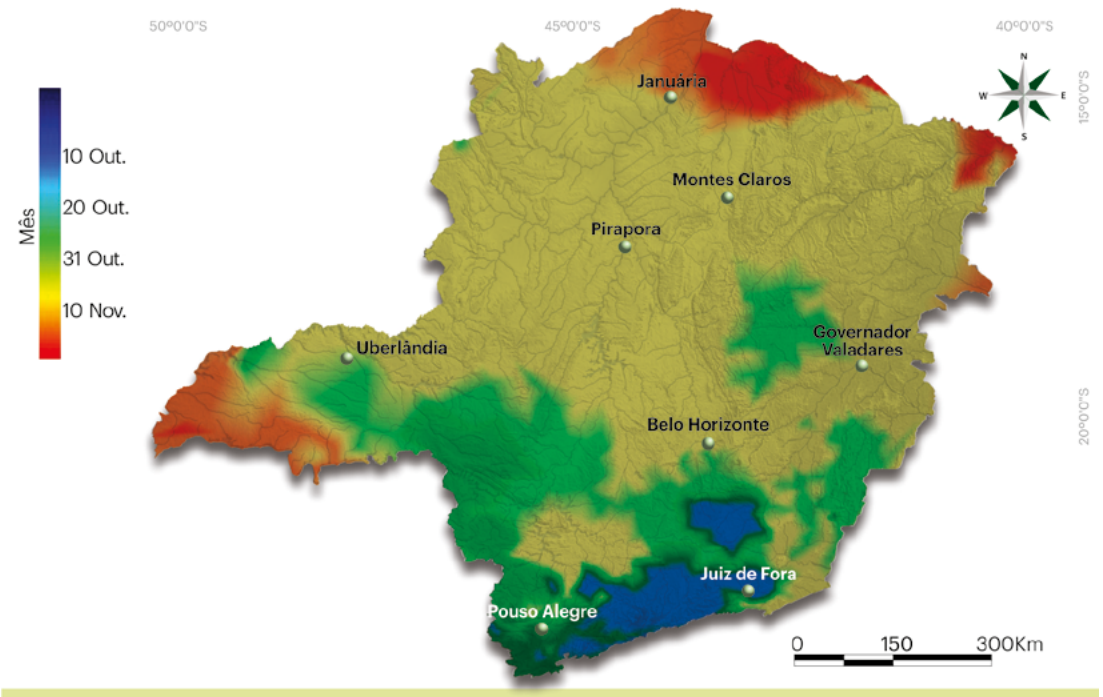


Figura 12 - Início da estação chuvosa no Estado de Minas Gerais

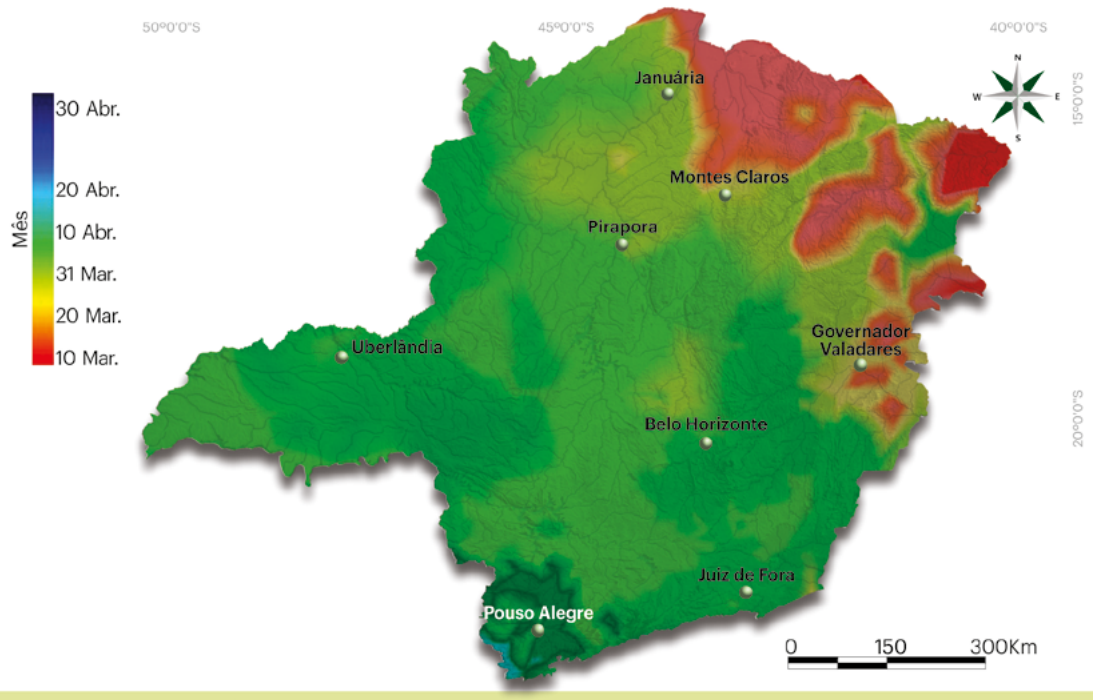


Figura 13 - Final da estação chuvosa no Estado de Minas Gerais

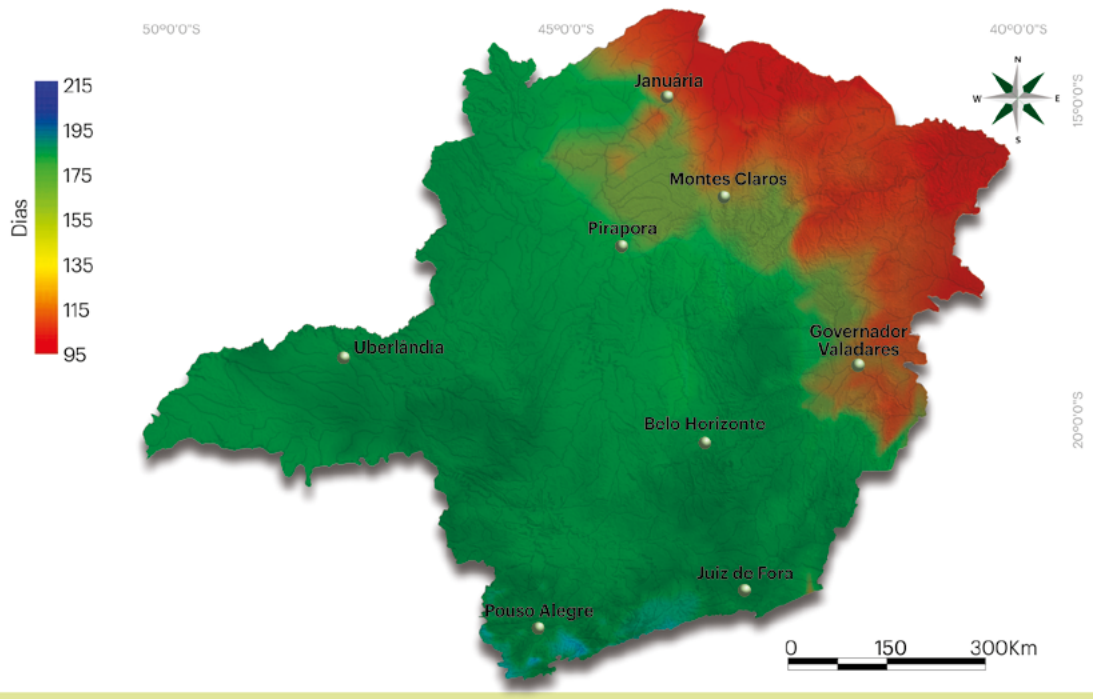


Figura 14 - Duração da estação chuvosa no Estado de Minas Gerais

A espacialização das chuvas sobre Minas Gerais baseou-se na série diária disponibilizada via imagens georreferenciadas pelo *Climate Hazards Group* – CHG e consiste na estimativa da precipitação sobre quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 50ºS e 50ºN e todas as longitudes) a partir de 1981 até o presente. O método CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data*), incorpora estimativas de chuva por satélite, banda infravermelha, em associação com bases oriundas de estações terrestres.

Pode-se observar nas Figuras 15 a 26 a precipitação média mensal em Minas Gerais. Os meses mais chuvosos no estado são: novembro, dezembro e janeiro. Os meses com menores índices pluviométricos são: junho, julho e agosto. As diferentes estações do ano são determinantes na distribuição e ocorrência de chuvas no estado. Durante os meses de primavera, verão e outono, as chuvas ocorrem com maior frequência em virtude do aumento da evapotranspição devido as temperaturas elevadas. Nos meses de inverno, as precipitações quase não ocorrem na maioria das regiões do estado.

Os processos convectivos e orográficos organizam chuvas no estado nos meses de primavera e verão. O primeiro, ocorre em quase todas as regiões do estado, entretanto, não é significativo na formação de chuvas nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce e em alguns municípios da região norte. O processo orográfico organiza chuvas principalmente em alguns municípios das regiões sul, Campo das Vertentes, central e Triângulo. O processo frontal é o que traz os maiores volumes de chuvas para o estado.

Janeiro

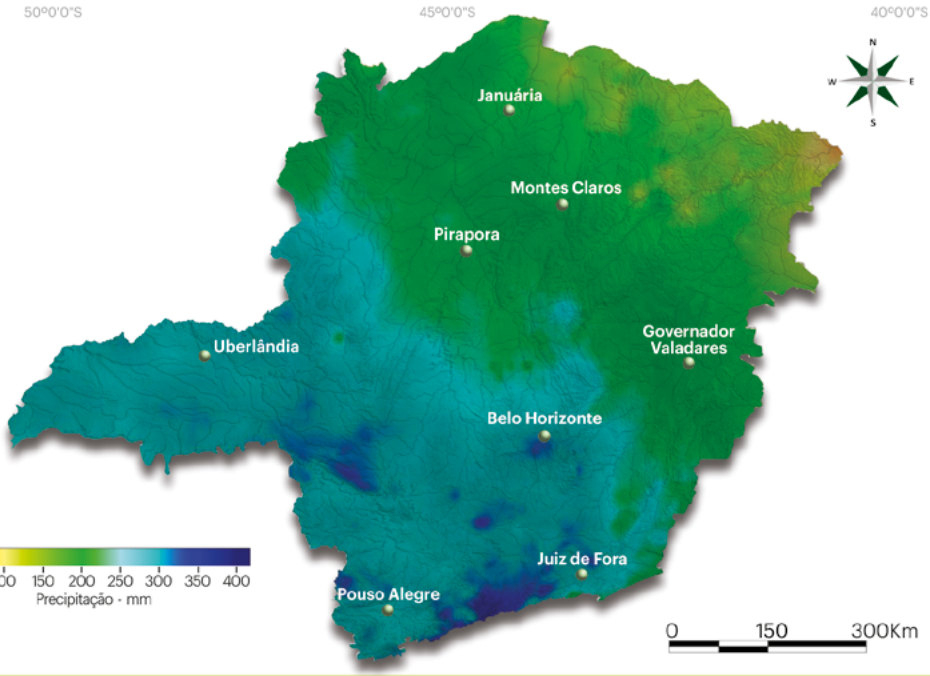


Figura 15 - Precipitação média em janeiro.

Fevereiro

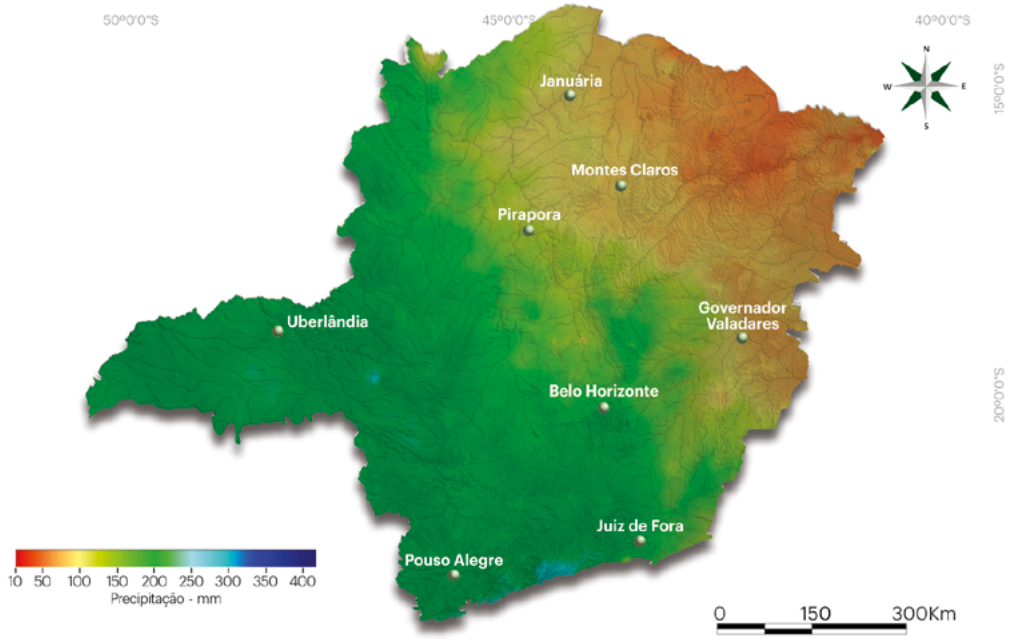


Figura 16 - Precipitação média em fevereiro.

Março

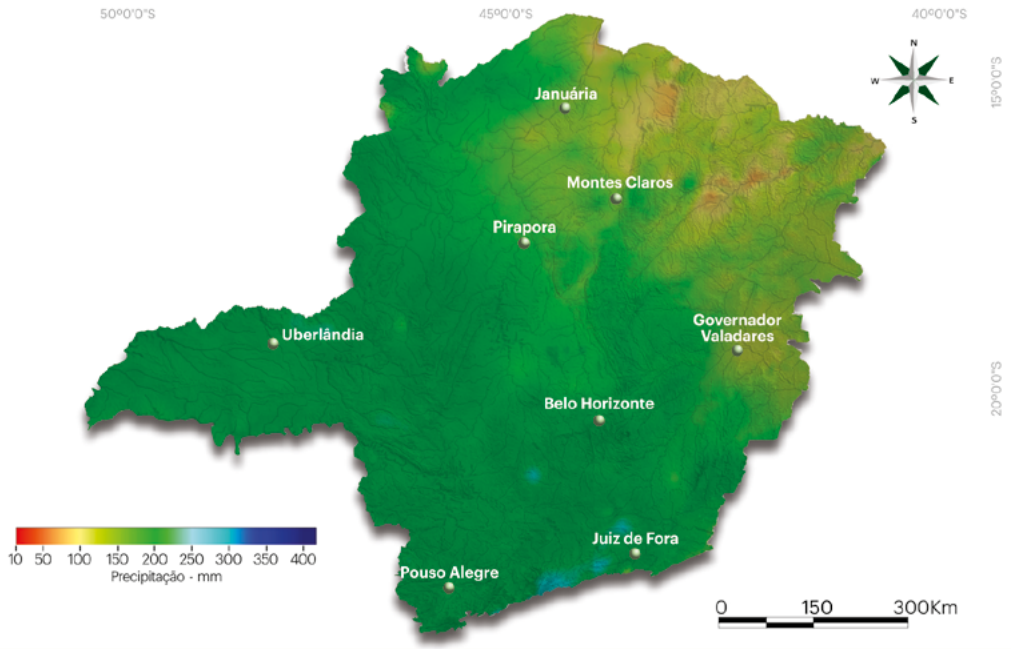


Figura 17 - Precipitação média em março.

Abril

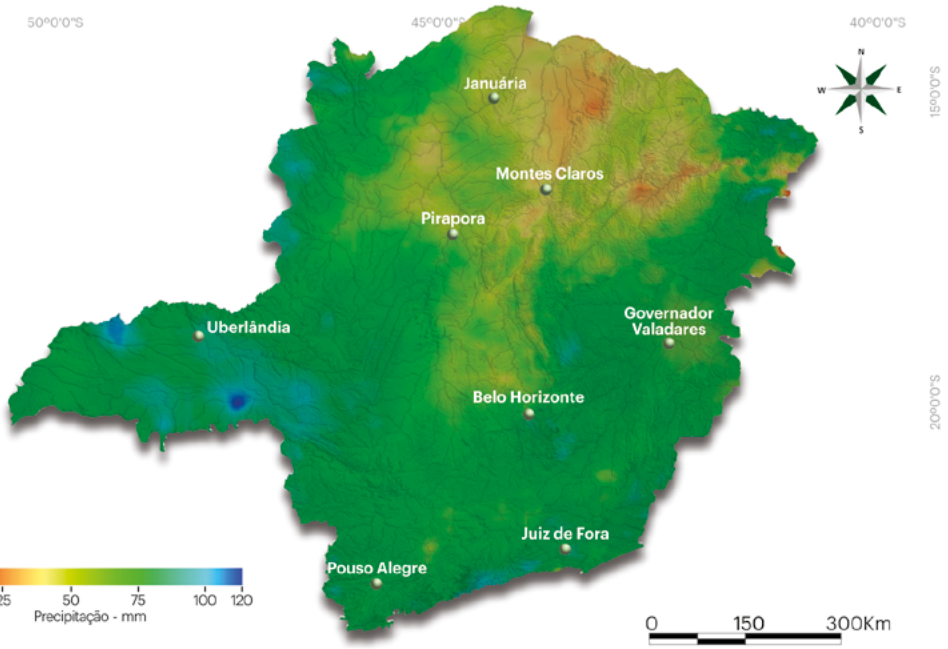


Figura 18 - Precipitação média em abril.

Maio

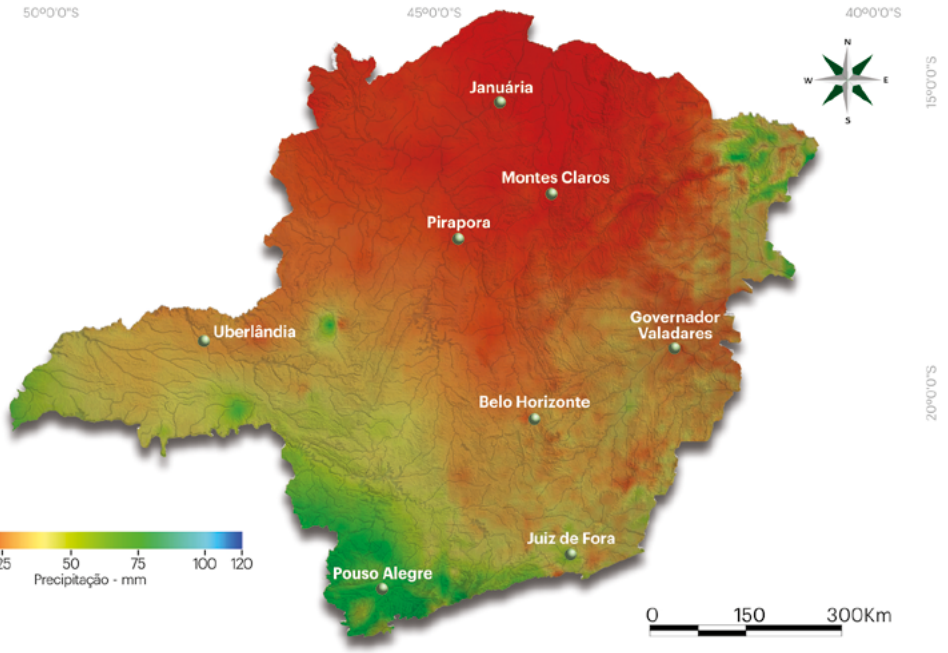


Figura 19 - Precipitação média em maio.

Junho

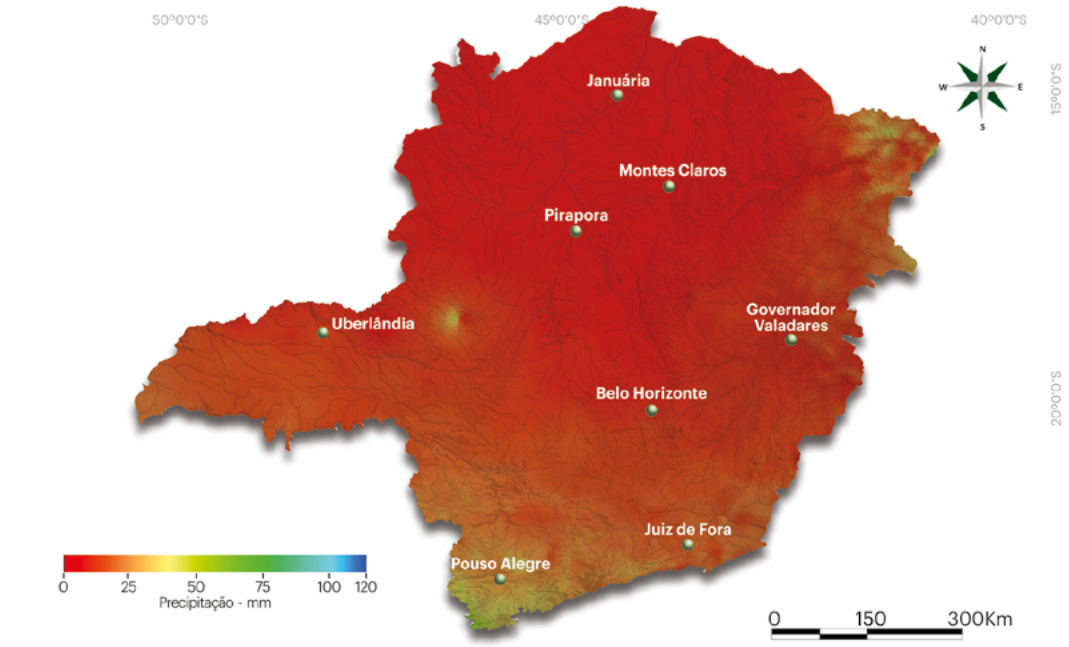


Figura 20 - Precipitação média em junho.

Julho

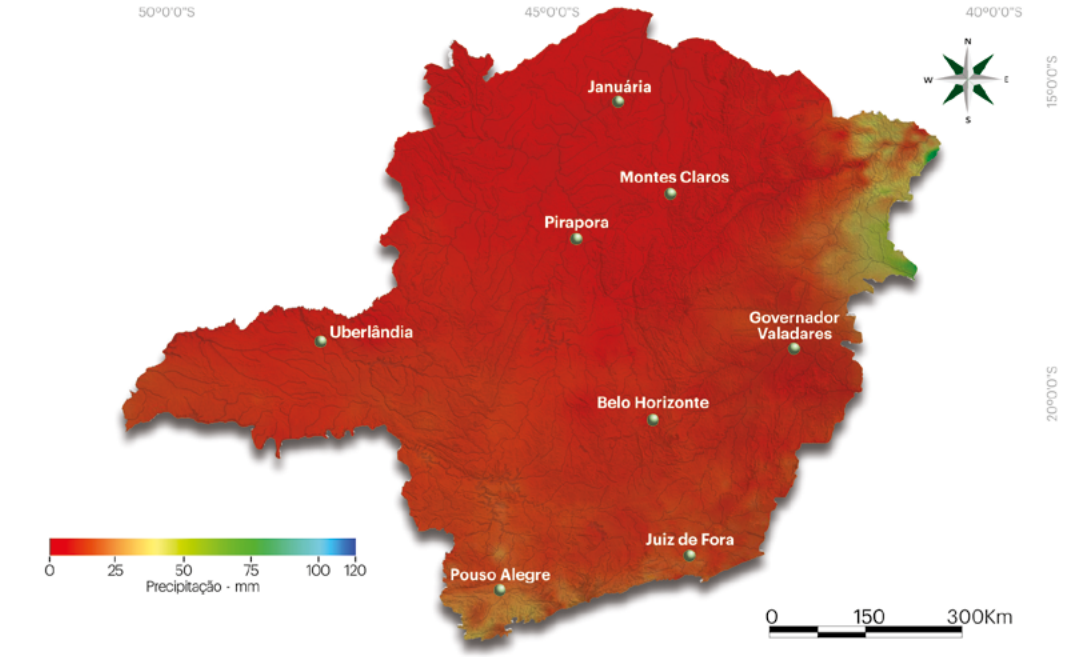


Figura 21 - Precipitação média em julho.

Agosto

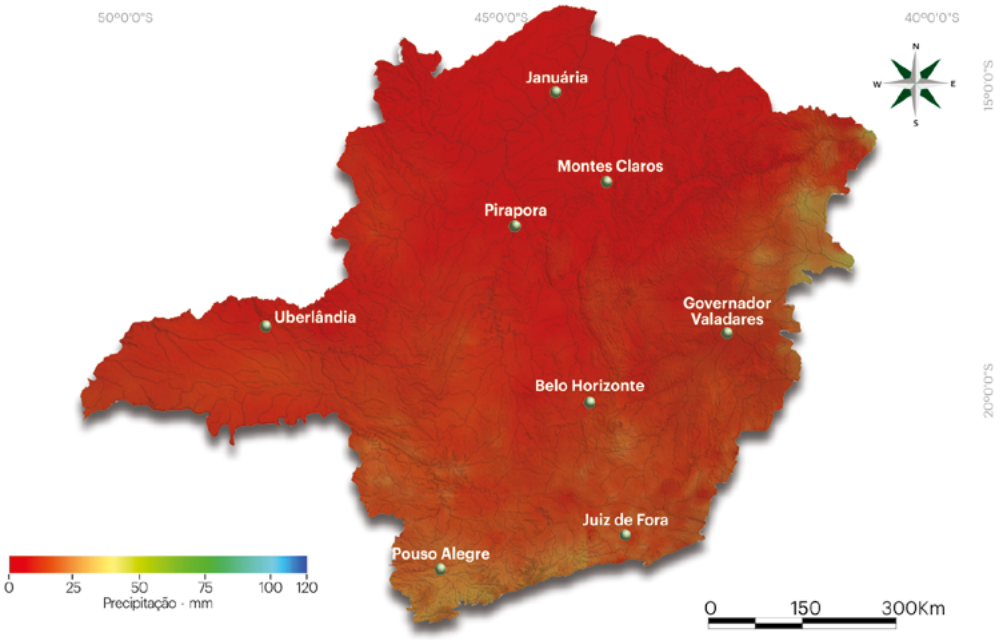


Figura 22 - Precipitação média em agosto.

Setembro

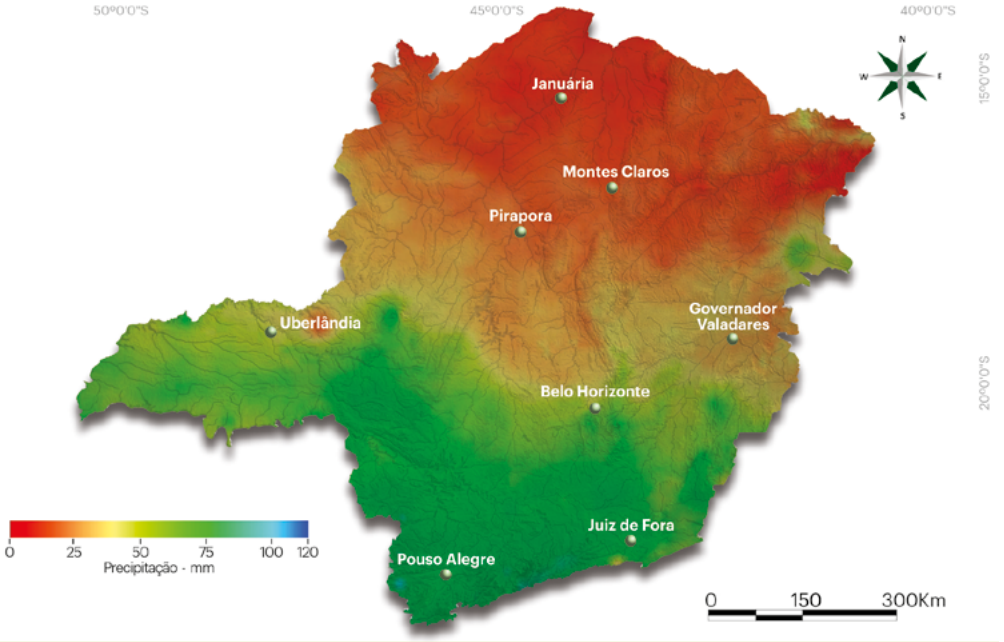


Figura 23- Precipitação média em setembro.

Outubro

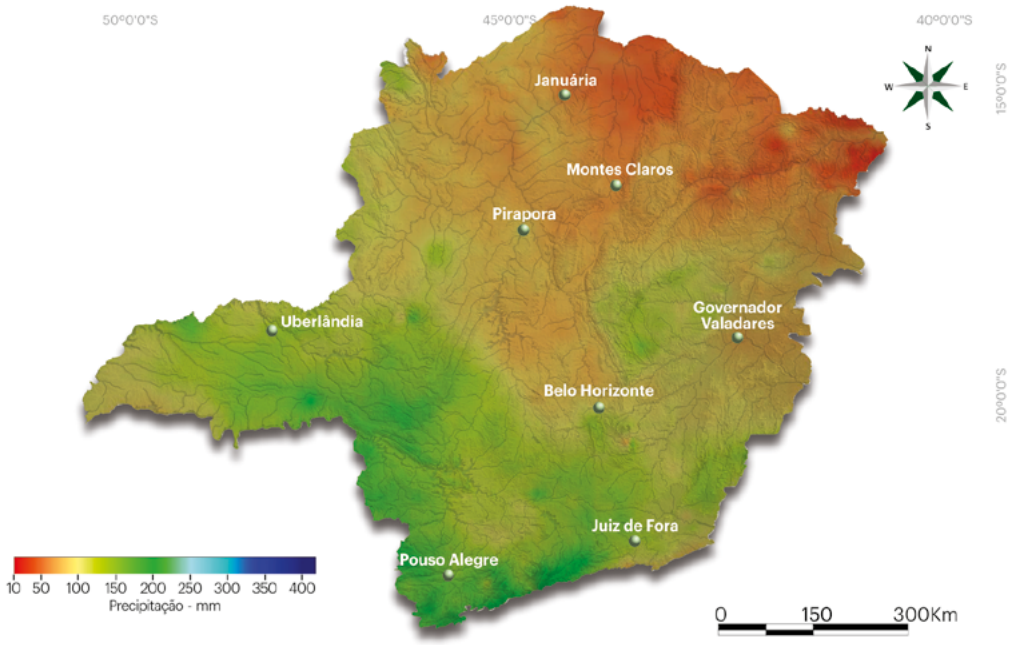


Figura 24 - Precipitação média em outubro.

Novembro

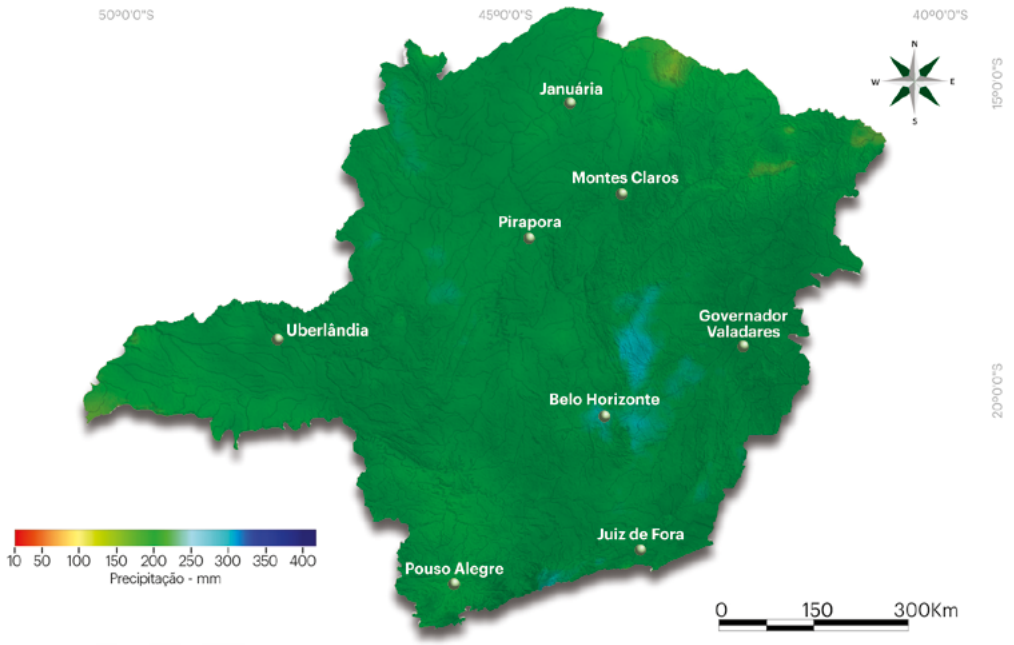


Figura 25- Precipitação média em novembro.

Dezembro

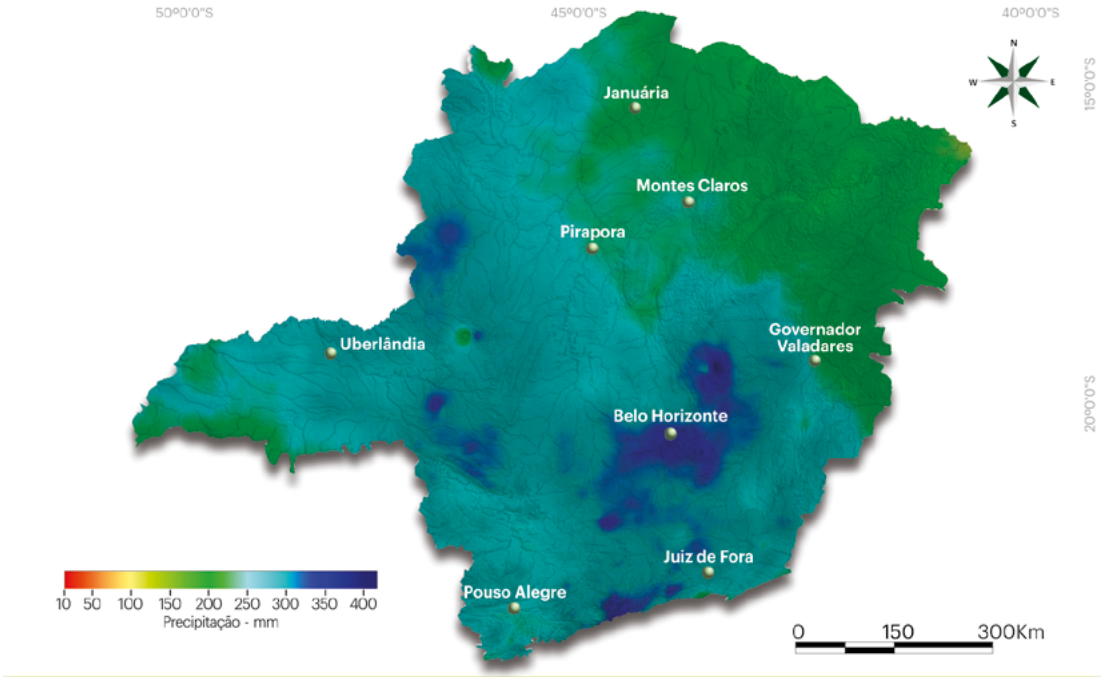


Figura 26 - Precipitação média em dezembro.

A Figura 27 mostra a precipitação média anual em Minas Gerais. Pode-se observar que os maiores volumes de chuvas ocorrem nas regiões oeste, sul, Zona da Mata, central e Triângulo. O município de Bocaina de Minas (região sul) é o que apresenta o maior volume de precipitação média anual, 2.100 mm/ano. Enquanto que o município de Porteirinha, região norte, é o que apresenta o menor índice pluviométrico anual, 650 mm/ano.

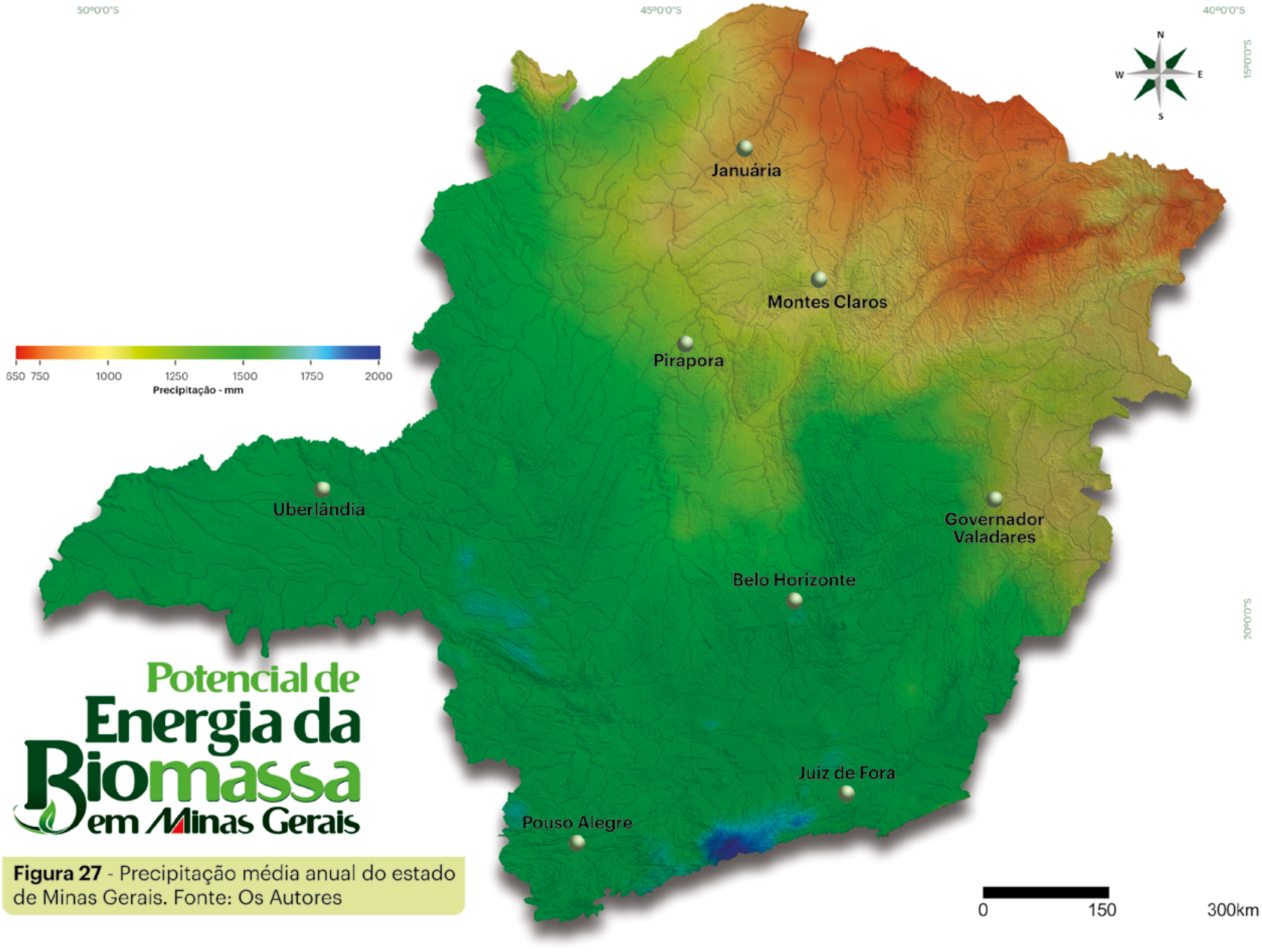


Figura 27 - Precipitação média anual do estado de Minas Gerais. Fonte: Os Autores

2.2.4 TEMPERATURA DO AR

A espacialização das temperaturas máximas e mínimas mensais no estado de Minas Gerais baseou-se nas séries históricas de 52 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) recentemente disponibilizado para uso. A espacialização da temperatura foi efetuada a partir do estabelecimento de relações funcionais entre a temperatura mensal e a altimetria local obtida pelo modelo de elevação digital do terreno SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*: Missão Topográfica Radar Shuttle), disponibilizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*: Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço). A localização geográfica e o tipo de relevo exercem influência nas temperaturas em Minas Gerais, onde predominam as maiores médias de temperatura máxima e mínima nas regiões: Centro-Oeste, Noroeste e Triângulo. A variação da temperatura média anual nas áreas mais elevadas varia entre 17°C a 20°C. Já nas áreas de menor altitude, a temperatura média anual varia de 20°C a 23°C. As Figuras 28 e 29 apresentam a média das temperaturas máximas e mínimas anuais no estado de Minas Gerais com base nos dados obtidos.

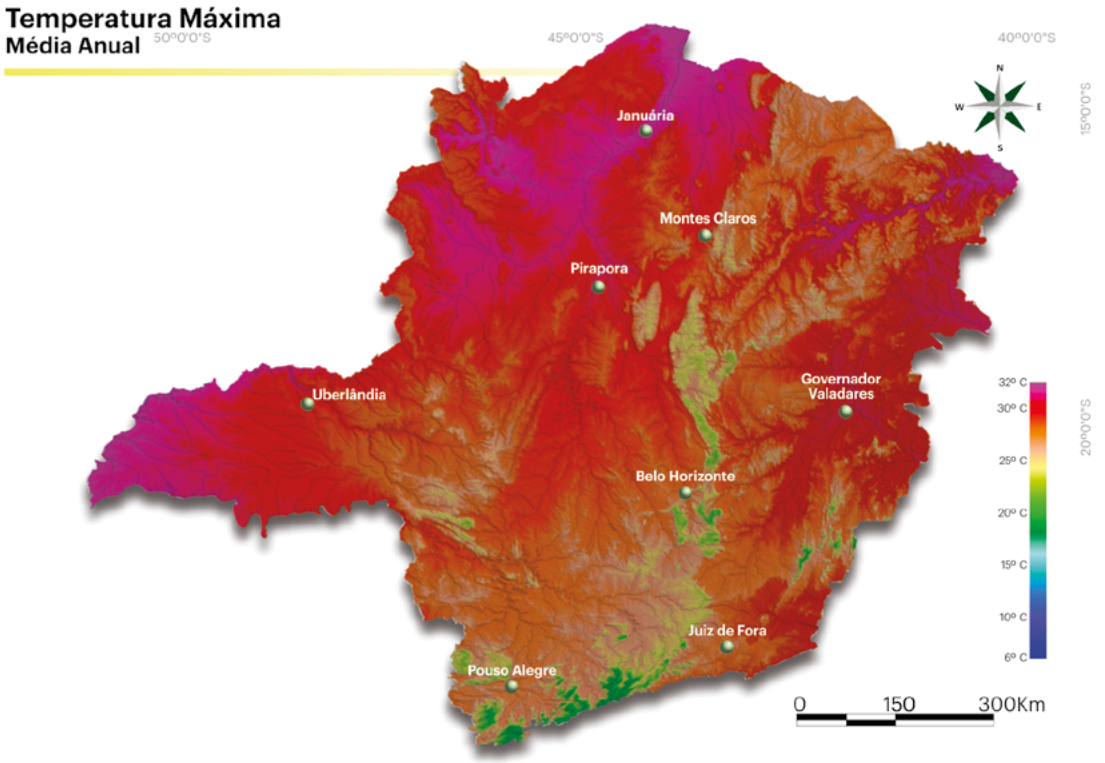


Figura 28 - Temperatura máxima média anual do Estado de Minas Gerais - Fonte: Os Autores

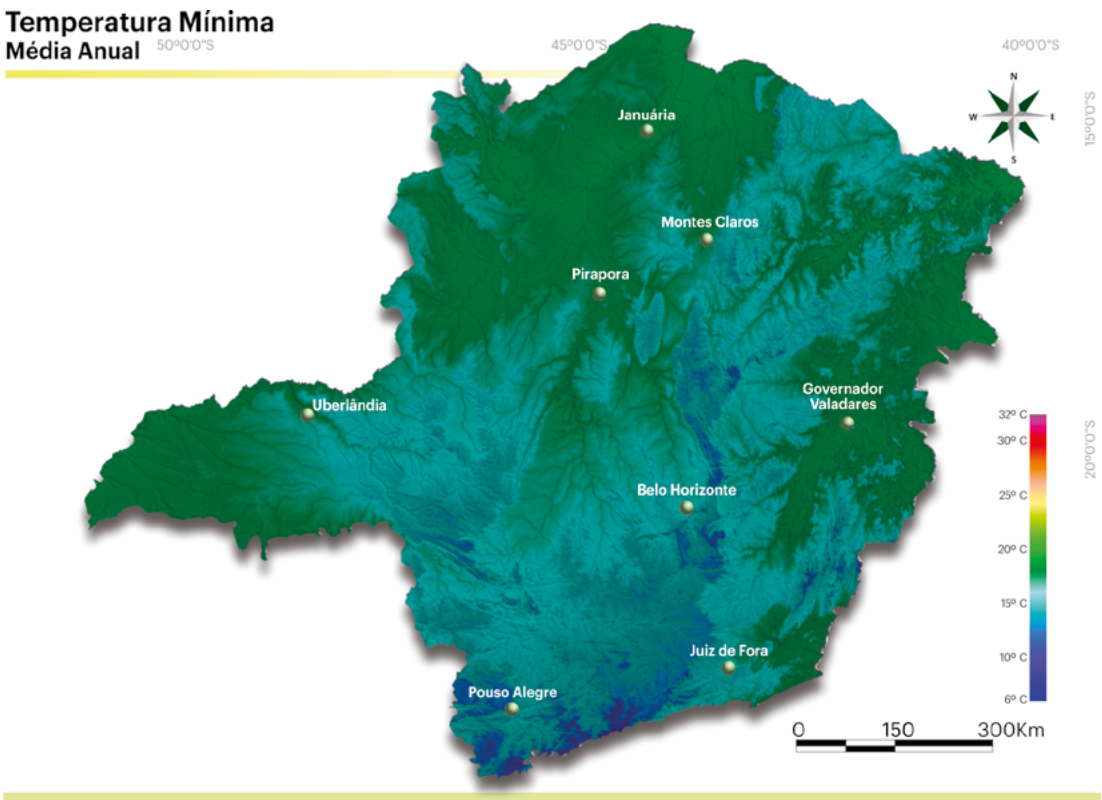


Figura 29 - Temperatura mínima média anual do Estado de Minas Gerais - Fonte: Os Autores

2.3 ZOENAMENTO CLIMÁTICO

O estado atual das variáveis atmosféricas em uma determinada região expressa as condições locais do tempo que estão sujeitas a mudanças constantes. A caracterização climática expressa as condições médias ou normais dessas variações temporais por um longo período de tempo, normalmente em durações de 30 anos. O clima, juntamente com as condições edáficas e o relevo são responsáveis pela delimitação dos biomas. Dá-se o nome de ecossistema às ações e interações entre os componentes bióticos e abióticos dos biomas. Considerando-se o processo evolutivo dos seres vivos, torna-se evidente a adaptação dos seres vivos às condições ambientais.

O zoneamento agroclimatológico visa a delimitação de zonas apropriadas para o cultivo de culturas agrícolas de modo a minimizar os riscos de estresse das plantas em relação ao ambiente. Para isso é necessário o conhecimento das condições climáticas e dos parâmetros fisiológicos das culturas agrícolas, área da ciência denominada de Bioclimatologia Vegetal, e suas subdivisões em: Meteorologia Agrícola, Climatologia Agrícola, Agrometeorologia e Agroclimatologia (WOLLMANN e GALVANI, 2013). Deve-se considerar também a constante mudança nas plantas cultivadas, principalmente em função da aplicação de técnicas de melhoramento genético e biotecnologia. Favarin & Oliveira (2013) mostram as profundas mudanças ocorridas nas plantas do cafeeiro (*Coffea arábica L.*) desde sua origem até as cultivares atuais, definidas por meio da ex-

ploração da variabilidade genética, introdução de novos cultivares, mutações naturais e recombinações genéticas oriundas dos cruzamentos. Desse modo, a cultura passou a ser explorada em condições de plantios homogêneos, a pleno sol e em áreas cujas condições climáticas diferem de sua dispersão original.

O Zoneamento Agrícola reveste-se de grande importância para as condições brasileiras tendo em vista as dimensões continentais do Brasil e sua variabilidade climática, a enorme importância da agricultura para a geração de alimentos, emprego, renda e geração de excedentes para exportação e o fato da maior parcela da produção agrícola nacional ser dependente das condições climáticas (plantios de sequeiro). A delimitação de zonas aptas para o cultivo agrícola contribui de modo decisivo para a minimização dos riscos de perdas na lavoura o que pode ser apontado como fator de impulso da expansão e profissionalização da agricultura brasileira.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) delimita, além das áreas aptas para o plantio, os períodos propícios para a semeadura de modo a minimizar os riscos de intempéries que possam afetar o desenvolvimento da cultura, especialmente aqueles relacionados ao suprimento hídrico (*déficit* ou excesso de água) e a temperatura (geadas, excesso de calor). Essa ferramenta de tomada de decisão sobre o que plantar, onde plantar e a época ideal de semeadura contribui para a minimização dos riscos da atividade agrícola e serve como garantia do produtor que segue essas normas para acesso aos programas de securitização rural (PROAGRO). O PROAGRO Mais e à subvenção do governo federal ao prêmio do seguro rural. O acesso ao crédito rural também vem sendo condicionado às recomendações do ZARC.

2.3.1 RESULTADOS

O zoneamento agroclimático das culturas agrícolas potenciais para a produção de biodiesel em Minas Gerais é resultante da interação entre as variáveis climatológicas e os parâmetros das culturas. No caso das culturas perenes (Eucalipto, Pinus, Pinhão Manso e Café) as zonas de aptidão foram delimitadas em função dos parâmetros das culturas e as normais climatológicas das variáveis de maior restrição ao cultivo e condições de altitude. No caso das culturas de ciclo curto (cana-de-açúcar, milho, soja, mandioca, mamona e soja) a aptidão de cultivo foi definida em função da probabilidade da ocorrência, suprimento hídrico ao longo do ciclo e dos riscos relacionados à temperatura e umidade do ar.

CAFÉ ARÁBICA - *COFFEA ARABICA L.*

O Brasil é líder mundial na produção de café arábica e o estado de Minas Gerais é responsável por cerca de 70% da produção nacional. O crescimento da cafeicultura no estado tende a ocupar áreas com maiores facilidades de mecanização da lavoura, especialmente nas regiões do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas. A busca por aumentos na produtividade e minimização de riscos climáticos induzem o aumento do uso de plantios irrigados. Nesse caso, o conhecimento da demanda hídrica nas diferentes fases de crescimento e produção ganha enorme relevância, porém, os resultados até então obtidos para o coeficiente de cultura do cafeeiro (Kc) apresentam valores controversos. Arruda et al.

(2000), informa valores de Kc variando entre 0,7 e 0,9 durante as fases da cultura; Sato et al. (2007) determinaram valores entre 0,59 e 1,16 para o cafeeiro Catuaí na região de Lavras, MG; Villa Nova et al. (2002) mostram o impacto da presença de plantas competidoras sobre o consumo de água da cultivar Mundo Novo em fase jovem; Ribeiro (2006) determinou valores de Kc entre 0,7 e 1,2 durante as fases de crescimento do Acaiá Cerrado em Lavras, MG; Silva et al. (2011) determinou valores de Kc entre 1,06 e 1,61 para o cafeeiro Rubi cultivado sob pivô central na mesma região. Esses resultados indicam a necessidade da elaboração de zoneamentos específicos para o cafeeiro em função da cultivar, idade, espaçamento, sistema de produção e tipo de solo. O zoneamento em questão baseou-se em parâmetros médios da cultura, solos de textura média e capacidade de água disponível no solo de 150 m. As variáveis classificatórias foram:

- Condições hídricas

Ápto: balanço hídrico com excedente de água por período superior a 140 dias/ano e déficit hídrico anual entre 40 e 220 mm.
Restrição hídrica moderada: balanço hídrico com excedente de água entre 130 e 140 dias/ano.
Restrição hídrica severa: balanço hídrico com excedente de água inferior a 130 dias/ano, ocasionando longa duração do período de estiagem e redução da oferta hídrica em fases críticas de demanda hídrica.
Restrição hídrica por excesso de água no solo: balanço hídrico com excedente de água superior a 700 mm e balanço hídrico com excedente de água no solo por período superior a 200 dias, o que poderá induzir à deficiência ou falta de oxigênio no solo (anoxia).

- Condições térmicas

Apto: temperaturas médias anuais entre 16 e 22ºC.
Restrições térmicas por frio: Temperatura média anual menor que 16ºC e temperatura mínima anual menor que 11ºC.
Restrições térmicas por excesso de calor: temperatura média anual > 22ºC e temperatura média anual do mês de novembro maior que 24ºC (ASSAD et al. 2004). Altas temperaturas impactam negativamente a floração e desenvolvimento dos grãos sendo ainda a principal causa de seus abortamentos (SEDIYAMA et al. 2001).
O zoneamento do cafeeiro arábica (*Coffea arabica L.*) para o estado de Minas Gerais foi gerado a partir da classificação de pixel de acordo com as condições hídricas e térmicas requeridas pela cultura e o resultado é apresentado na Figura 30.

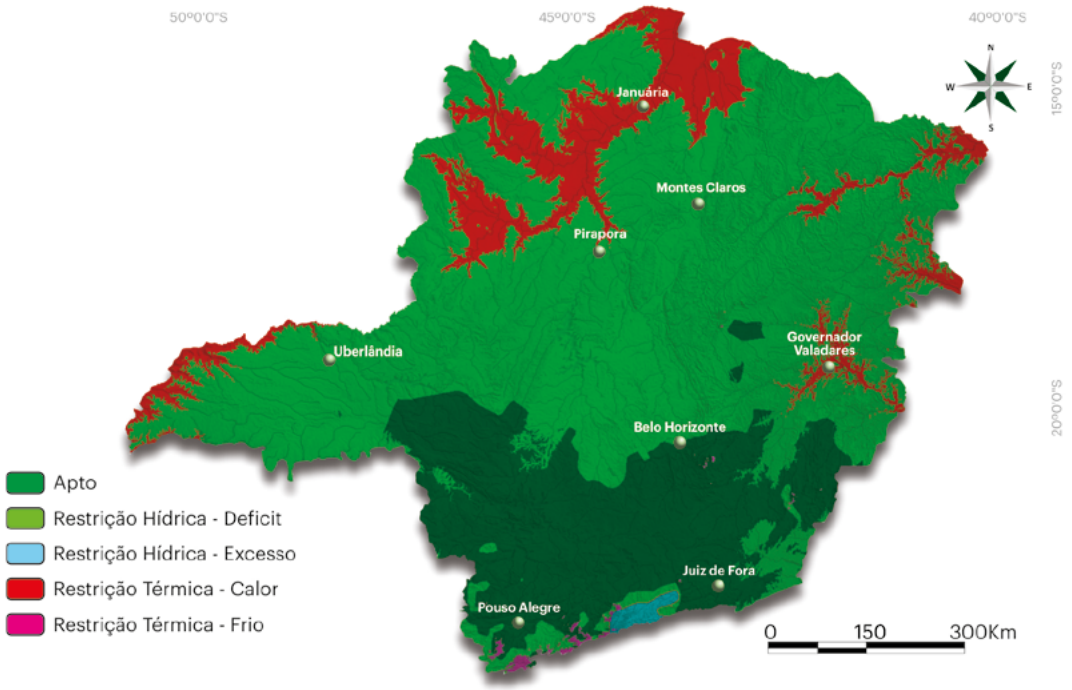


Figura 30 - Aptidão climática para o cultivo do Café Arábica em Minas Gerais
Fonte: Autores

O zoneamento indica como aptas, sem nenhuma restrição térmica ou hídrica, as áreas tradicionais de cultivo em Minas Gerais, especialmente nas mesorregiões do Sul e Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes e partes da Zona da Mata, Oeste de Minas, Metropolitana de Belo Horizonte e Alto Paranaíba.

As regiões do Vale do rio Doce, Vale do Mucuri, Jequitinhonha e Norte de Minas apresentam fortes restrições hídricas e térmicas. Nesses casos a cafeicultura deve ser praticada com o uso de irrigação e locais de maior altimetria.

As regiões Central Mineira, Noroeste de Minas e parte das regiões Metropolitana de Belo Horizonte e Triângulo Mineiro apresentam restrições hídricas moderadas e o uso de irrigação contribui para redução de riscos e aumento da produtividade.

A região Sul/Sudoeste de Minas apresenta áreas com restrições térmicas ocasionadas pelo frio (riscos de geadas e redução no crescimento) e excesso hídrico em função da alta pluviosidade e duração do ciclo das chuvas.

CANA-DE-AÇÚCAR - *SACCHARUM OFFICINARUM L.*

O sistema de produção da cana-de açúcar na Região Sudeste do Brasil apresenta 2 tipos de plantio: cana-de-ano em que a cultura no início da estação chuvosa, vegeta durante o período das chuvas e o processo de maturação se dá no período de estiagem e cana-de-ano-e-meio onde o plantio é realizado no final da estação chuvosa onde ocorre o estabelecimento da cultura para atingir o máximo de crescimento durante a estação chuvosa seguinte e o

corte se dá aos 18 meses após o plantio (MARIN et al. 2009). Os sistemas de produção apresentam variações em função do ciclo de cultivo: cana-planta referente ao primeiro ciclo de corte e os sistemas de soca ou ressoca dependendo do número de cortes e o surgimento de novos canaviais a partir das brotações. Doorenbos e Kassam (1994) mostram a tendência de redução do Coeficiente de Cultura (Kc) da cana-de-açúcar de cana-planta para cana-soca. A tendência de mecanização dos cultivos e a Lei da Queima da Cana (Lei nº 11.241/2002) e as restrições às aberturas de novas áreas (MANZATO et al. 2009) vêm provocando profundas alterações na localização dos canaviais de Minas Gerais com sensível diminuição dos plantios nas áreas de relevo acidentado e expansão para as áreas dos Cerrados.

Os parâmetros climáticos adotados para o zoneamento da cana-de-açúcar em Minas Gerais foram:

- Condições hídricas

Déficit hídrico anual entre 150 e 300 mm.
Balanço hídrico anual com excedente hídrico superior a 600 mm.
Balanço hídrico anual com período de excedente hídrico superior a 110 dias.
Precipitação média anual superior a 1200 mm.

- Condições térmicas

Temperatura média anual superior a 19ºC.
A partir do cruzamento entre as variáveis classificatórias foram estabelecidas 5 zonas relacionadas com a aptidão de cultivo e os resultados são apresentados na Figura 31.

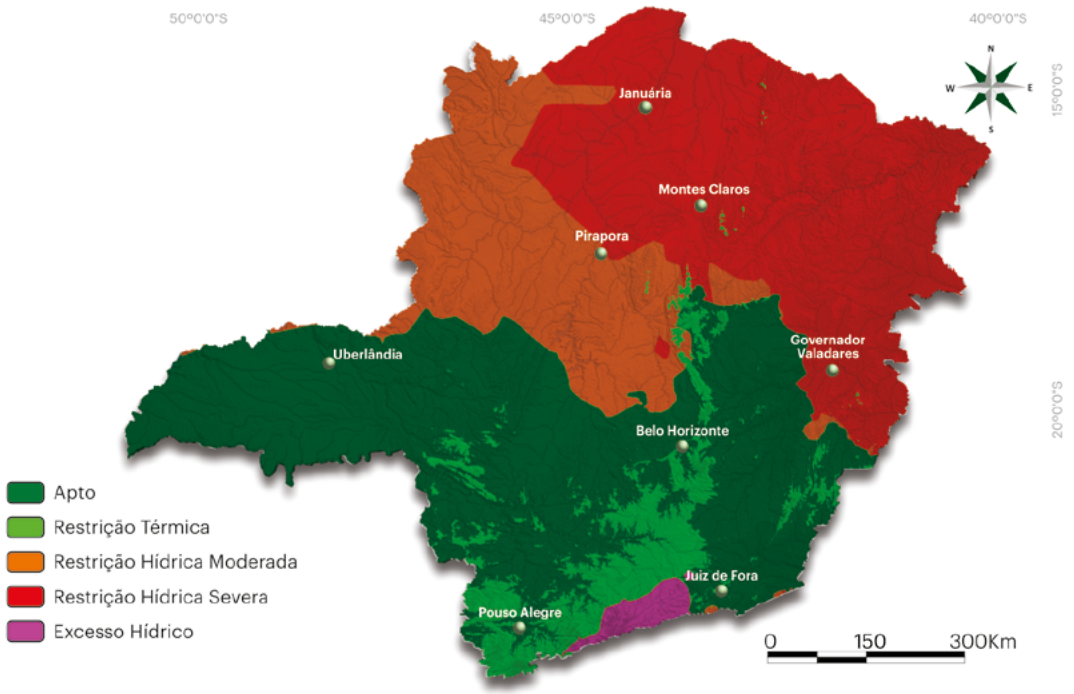


Figura 31 - Aptidão climática para o cultivo da cana-de-açúcar em Minas Gerais
Fonte: Os Autores

EUCALIPTO – *EUCALYPTUS SP.*

De acordo com relatório de 2015 da Associação Mineira de Silvicultura (A.M.S. www.silviminas.com.br) o estado de Minas Gerais detém cerca de 23% das áreas de florestas plantadas no Brasil com cerca de 1,5 milhão de hectares. O rápido crescimento das plantações de eucalipto tem contribuído para o aumento da competividade do setor florestal brasileiro nos mercados internacionais e foi responsável por exportações no valor de US$ 8,5 bilhões.

O aumento de produtividade teve grande impulso com as técnicas silviculturais e manejo florestal e a geração de híbridos mais produtivos e a reprodução por clonagem. Stape et al. (2014) mostram os impactos da oferta hídrica sobre a produtividade de clones de eucalipto. Stape et al. (2010) indicaram um acréscimo médio de 9,5 m^3/ha/ano em produtividade com a correção de déficit hídrico. O programa BEPP (Brasil *Eucalyptus* Produtividade Potencial) foi ampliado para o programa TECHS (Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Biológicos) visando avaliar a interação clone x ambiente. Souza et al. (2006) reportam a diminuição de aproximadamente 0,5 m^3/ha/mês na produtividade do eucalipto para cada redução de 100 mm de chuva/ano. Dohler et al. (2014) reportam que para atingir o máximo de produtividade em São Mateus-ES, seria necessária uma irrigação suplementar de 365 mm além da precipitação média anual de 1378 mm. Alfonsi et al. (2011) adotaram os

seguintes parâmetros para o zoneamento de *Eucalyptus grandis* no Sudeste do Brasil: Temperatura média anual entre 12 e 25°C; temperatura média das mínimas do mês mais frio superior a 10°C; precipitação total anual acima de 1000 mm/ano e deficiência hídrica anual abaixo de 200 mm/ano.

Os parâmetros climáticos adotados para o zoneamento do Eucalipto em Minas Gerais foram:

- Condições hídricas:
Precipitação média anual > 900 mm
Deficiência hídrica anual inferior a 200 mm.
- Condições térmicas
Temperatura mínima mês mas frio > 9º C
Temperatura média anual entre 12 e 25ºC

Redução no potencial produtivo de 5 m^3/ha/ano para a redução de 100 mm na precipitação anual.

A Figura 32 apresenta o zoneamento de aptidão climática e potencial produtivo para clones de eucalipto em Minas Gerais.

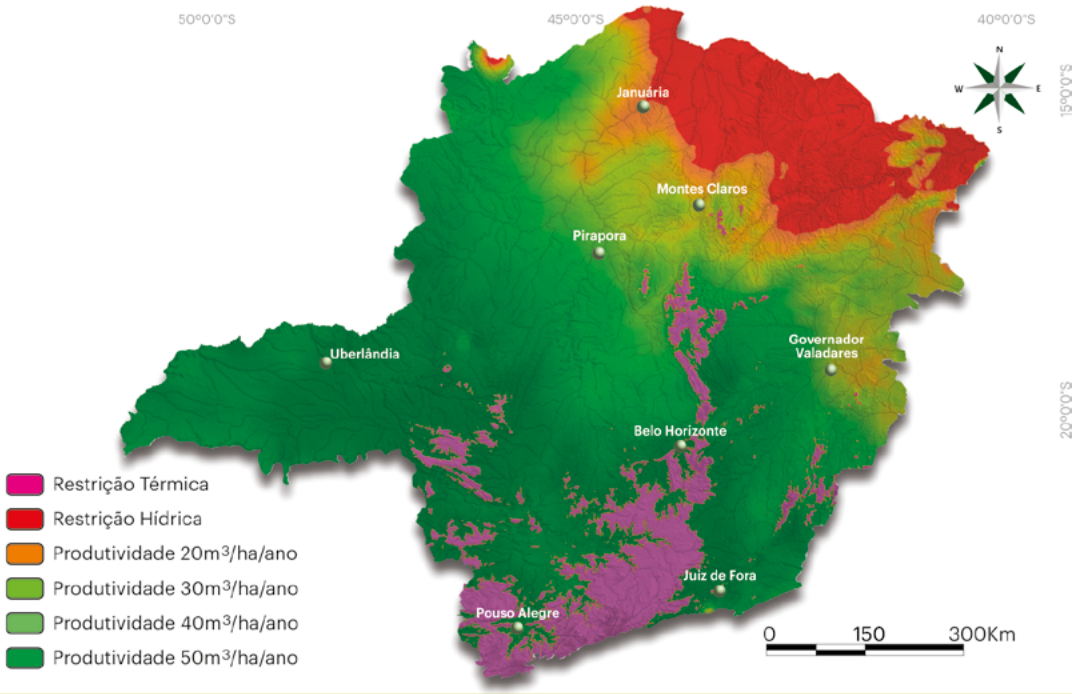


Figura 32 - Aptidão climática para o cultivo de Eucalípto em Minas Gerais
Fonte: Autores

MACAÚBA - *ACROCOMIA ACULEATA* (JACQ.) LODD. EX MART

Palmeira de grande distribuição geográfica, desde o México até a Argentina, a espécie é tolerante ao fogo e a estiagens prolongadas (POETSCH et al. 2012). A exploração em alta escala da espécie ainda é dependente de melhoria nos estudos sobre sistemas de produção e adaptabilidade climática. Mota et al. (2002) reportam que a ocorrência da Macaúba em Minas Gerais está restrita à solos com boa fertilidade natural e a ocorrência de floresta subcaducifólia.

De acordo com Roscoe (2008) a macaúba apresenta rendimentos em óleo entre 20 e 30% e capacidade de produção de 2.000 a 4.500 litros de óleo/ha além de subprodutos como ração animal e carvão.

Durães (2008) reporta a existência no Brasil de aproximadamente 11,5 milhões de hectares de macaubas nativas com cerca de 200 plantas/ha.

A determinação de critérios para a delimitação de áreas potenciais para o cultivo da macaúba em Minas Gerais levou em consideração a distribuição natural de sua ocorrência.

Parâmetros adotados:

Temperatura mínima anual superior a 15ºC

Precipitação média anual entre 1000 e 1600 mm

Altimetria inferior a 1000 m.

O zoneamento climatológico para o cultivo da macaubeira é apresentado na Figura 33.

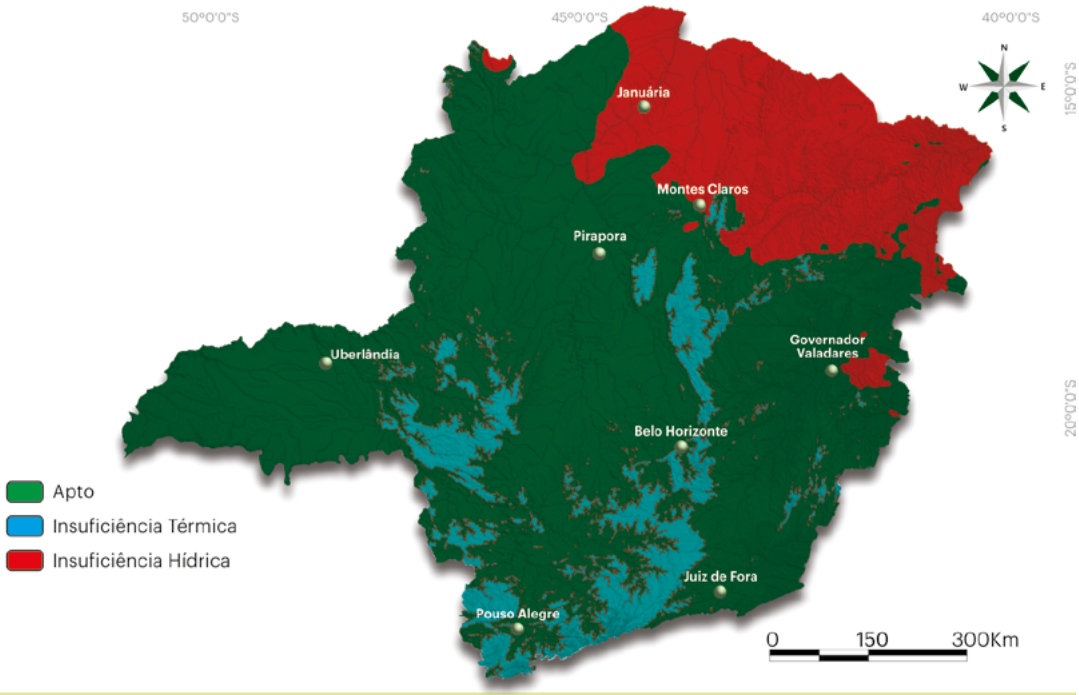


Figura 33 - Aptidão climática para o cultivo da Macaúba em Minas Gerais
Fonte: Os Autores

MAMONA - *RICINUS COMMUNIS L.*

A mamona apresenta excelente adaptação aos trópicos e no Brasil vegeta desde o Rio Grande do Sul até a Amazônia. As exigências às altas temperaturas e tolerância à seca permite que a cultura se desenvolva bem nas condições semiáridas, regiões mais pobres do país (BELTRÃO et al., 2009). De acordo com Caviglione et al. (2008) quando cultivada em altitudes inferiores a 300 m a cultura tende a apresentar maiores produções de massa verde em detrimento da produção de frutos. Os mesmos autores informam que em condições de temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar aumentam os riscos de doenças principalmente do mofo cinzento (*Botrytis ricini*). Beltrão et al. (2004) relatam a viabilidade de cultivo comercial da mamona na Região Norte de Minas Gerais.

A Portaria nº 128, de 20 de julho de 2016 estabelece como parâmetros para o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) da mamoneira as seguintes variáveis climatológicas:
Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA) > 0,5
Altitude entre 300 e 1500 m.
Temperatura média anual entre 20 e 30ºC
Precipitação maior que 700 mm no período chuvoso.

Tendo em vista que o ZARC da Mamona em 2014 limita a precipitação média anual em 500 mm e o fato da cultura apresentar bom desenvolvimento em áreas com precipitações acima de 400 mm/ano na Região Nordeste, optou-se por não inserir restrições ao cultivo em função da precipitação média anual para o estado de Minas Gerais.
As variáveis incluídas no processo de estratificação foram:
Temperatura média anual > 20ºC
Umidade relativa do ar (média anual) < 77%.

Os resultados do zoneamento agroclimático são apresentados na Figura 34.

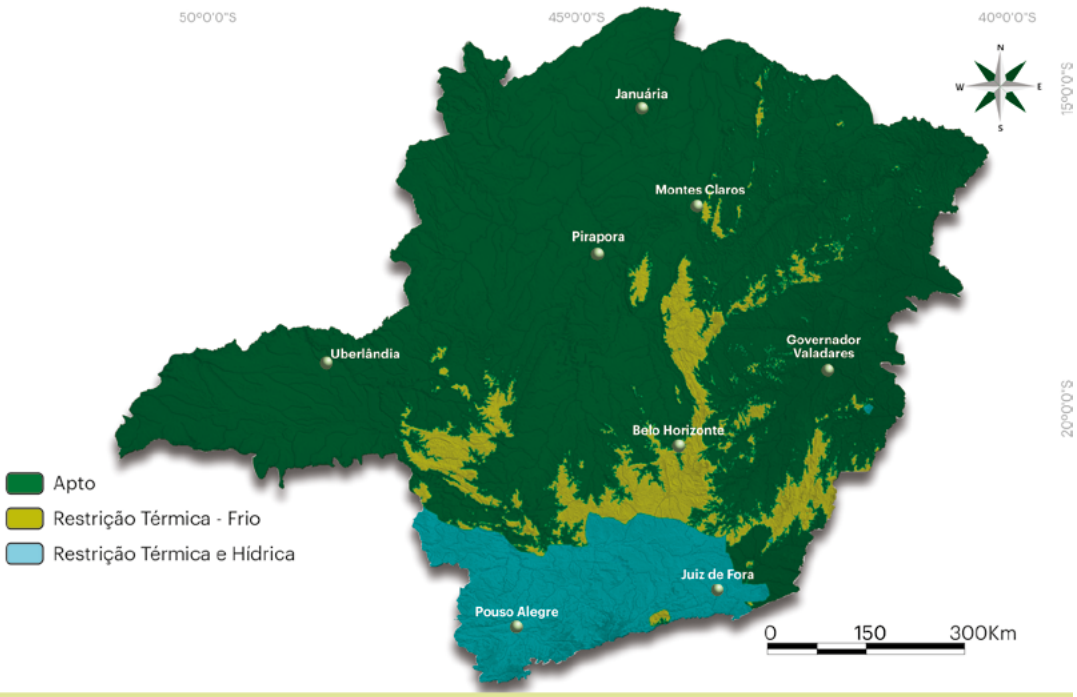


Figura 34 - Aptidão climática para o cultivo de Mamona em Minas Gerais
Fonte: Autores

MILHO – *ZEA MAYS L.*

O milho é a cultura mais cultivada no Brasil e está presente em todos os municípios brasileiros que possuem área rural. Entretanto, sua produtividade é altamente afetada por estresses ambientais, especialmente aqueles causados pela deficiência hídrica, encharcamento do solo e temperatura principalmente nos períodos correspondentes à polinização, fecundação e desenvolvimento inicial dos grãos.

A Portaria Nº 151, de 20 de julho de 2016 define as datas de plantio e cultivares de milho indicadas para solos de textura média, arenosa e argilosa no estado de Minas Gerais. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático emprega séries históricas diárias e identifica as datas de plantio correspondentes à minimização dos riscos de estresses hídricos em função do desenvolvimento da cultura e a disponibilidade de água no solo.

O zoneamento apresentado utiliza de séries decendiais de chuva e evapotranspiração e determina a disponibilidade de água no solo para cultivares de ciclo médio (110 dias) e solo com textura média (CAD de 125 mm). Áreas com riscos de excesso de água no solo, com registros de excedentes de água no balanço hídrico maiores que 700 mm/ano, foram identificadas como inaptas para o cultivo. Os resultados são apresentados na Figura 35.

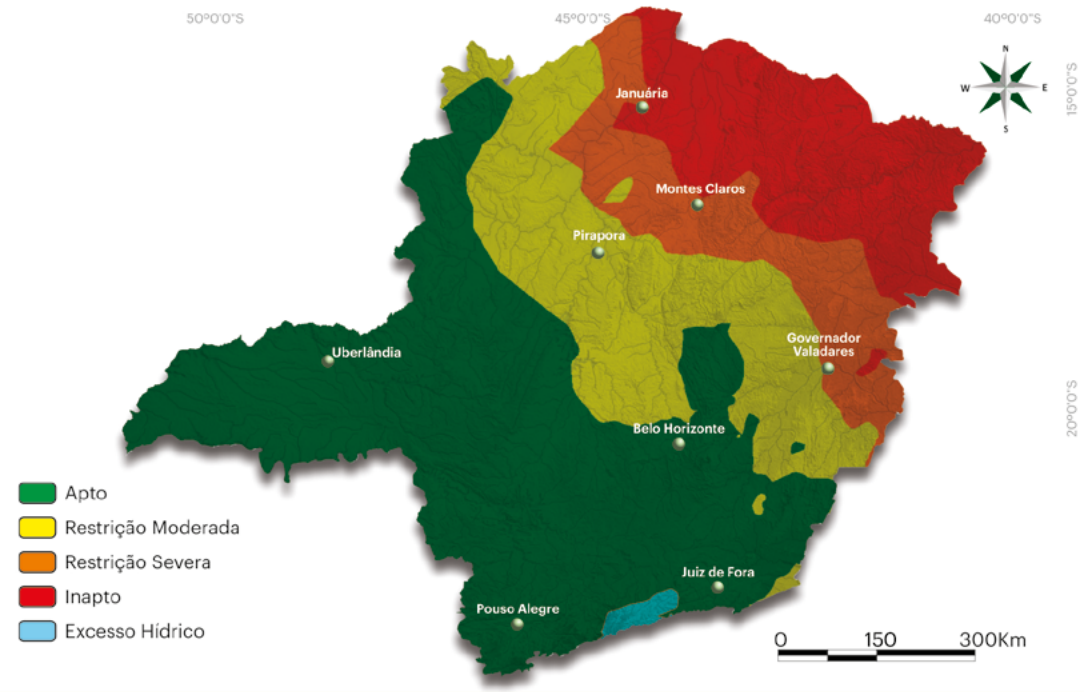


Figura 35 - Aptidão climática para o cultivo de Milho em Minas Gerais
Fonte: Autores

Diferentemente dos resultados apresentados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático para o Milho em Minas Gerais, grande parte dos municípios das regiões Norte de Minas, Jequitinhonha e Vale do Mucuri foram classificados como inaptos para plantio, ou seja, um zoneamento mais restritivo.

PINHÃO-MANSO - *JATROPHA CURCAS L.*

Conforme Resende et al. (2009), apesar de ser conhecido desde a era pré-colombiana, o pinhão-manso continua ainda sendo uma espécie pouco estudada e em processo de domesticação. Maior atenção tem sido dada a essa planta em função da produção de óleo vegetal e sua capacidade de adaptação em zonas semiáridas chegando a suportar longas estiagens com precipitações em torno de 250 mm por até 3 anos consecutivos. Conforme Avelar (2009), um dos fatores limitantes ao desenvolvimento dessa cultura é o prolongado período e desuniformidade na maturação dos frutos.

Pezzopane (2012) adotou limites de temperatura média anual entre 20 e 28ºC e precipitação anual entre 1.000 e 1.500 mm para estabelecer o zoneamento agrometeorológico do pinhão-manso para o Espírito Santo. Possas et at. (2012) adotou a temperatura entre 18 e 28ºC e precipitação acima de 1.000 mm. Vairavan et al., (2007) citados por Resende et al. (2009), definem a temperatura ótima de crescimento da espécie entre 30 e 40ºC. Maes et al. (2009) estudaram as zonas de ocorrência natural da espécie e encontraram valores de temperatura média anual variando entre 19,3 e

27,2ºC e precipitações acima de 944 mm, valores utilizados no zoneamento atual, apresentado na Figura 36.

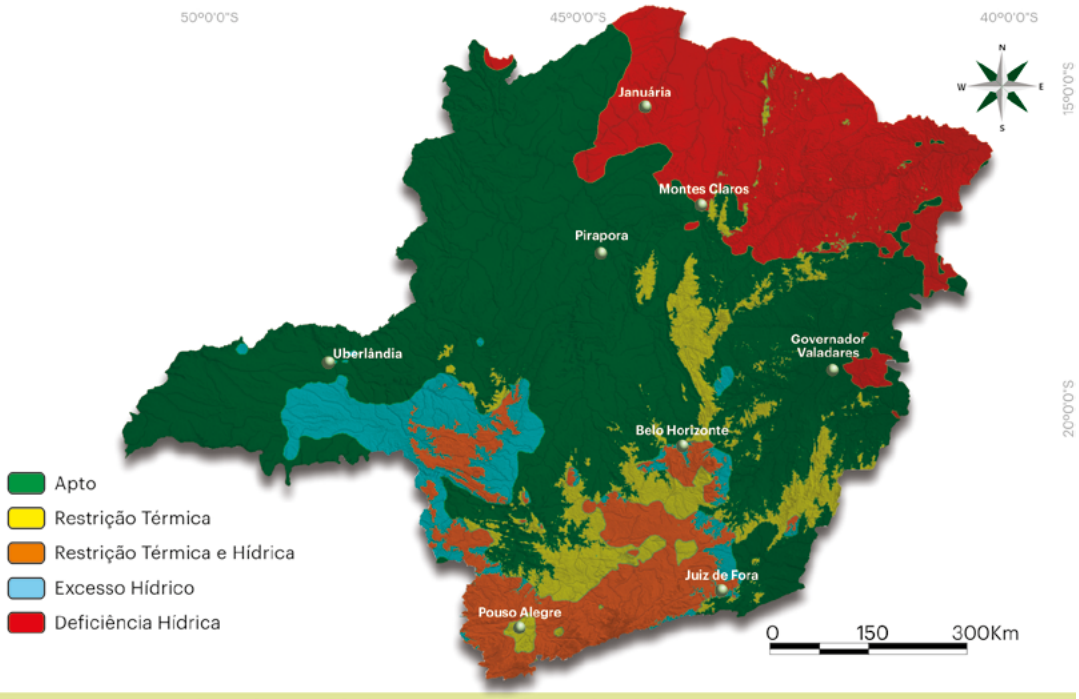


Figura 36 - Aptidão climatológica para o cultivo de Pinhão-manso em Minas Gerais
Fonte: Os Autores

PINUS

O cultivo de Pinus no Brasil teve maior desenvolvimento em São Paulo e estados da região Sul, onde foram introduzidos com êxito materiais genéticos de origem subtropical proveniente da região sul dos Estados Unidos. As espécies mais plantadas foram *Pinus elliottii var. elliottii* e *Pinus taeda*. A partir dos trabalhos de introdução e zoneamento de espécies florestais no Brasil pelo PRODEPEF (PRODEPEF/FAO/PNUD/IBDF/BRA-45 - Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal de 1976 a 1977) novas espécies foram introduzidas e as provenientes de clima tropical se adaptaram nas regiões tropicais brasileiras. As espécies tropicais de melhor adaptação foram *Pinus oocarpa*, *Pinus caribaea var. hondurensis* e *Pinus tecunumanii*.

A Figura 37 apresenta a aptidão climática para Pinus tropicais e subtropicais em Minas Gerais de acordo com as recomendações de Golfari (1975).

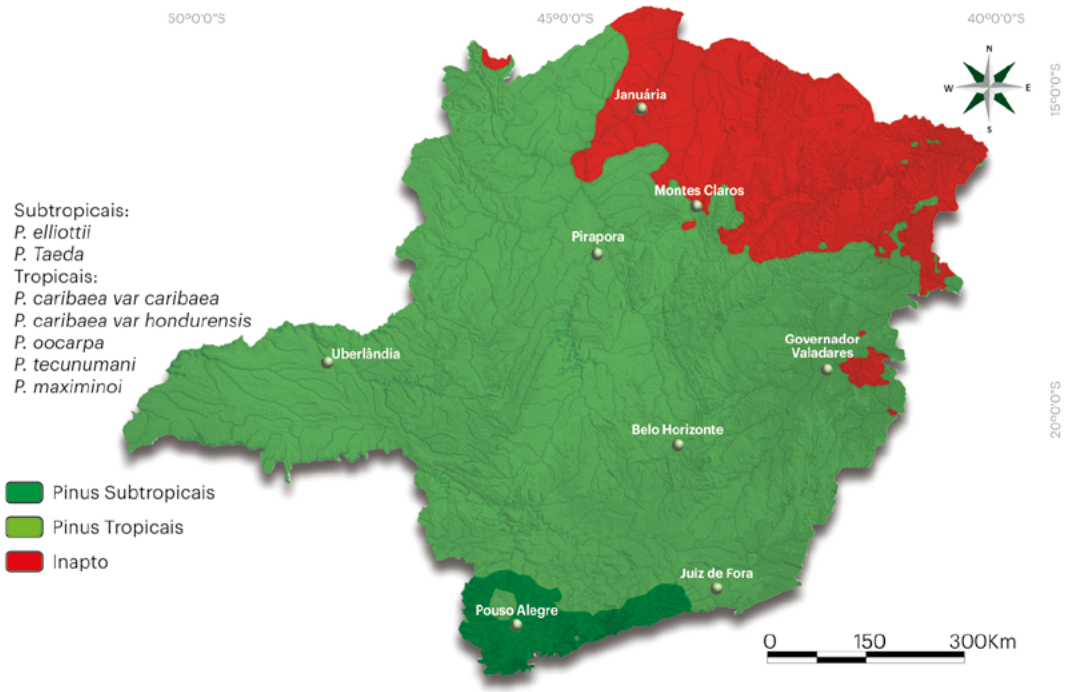


Figura 37 - Aptidão climática para o cultivo de Pinus em Minas Gerais
Fonte: Autores

SOJA - *GLYCINE MAX (L.) MERRILL.*

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (ANP), a soja é atualmente responsável por 82% da produção de biocombustíveis no Brasil seguida pela gordura bovina, ou seja, 98% do biodiesel do Brasil é oriundo de apenas duas fontes.

O zoneamento agroclimatológico da soja para o estado de Minas Gerais seguiu os mesmos padrões adotados para a cultura do milho, diferenciando-se em função do volume de solo explorado pelas raízes, ciclo de crescimento e produção e Coeficiente de Cultura. Os resultados são apresentados na Figura 38.

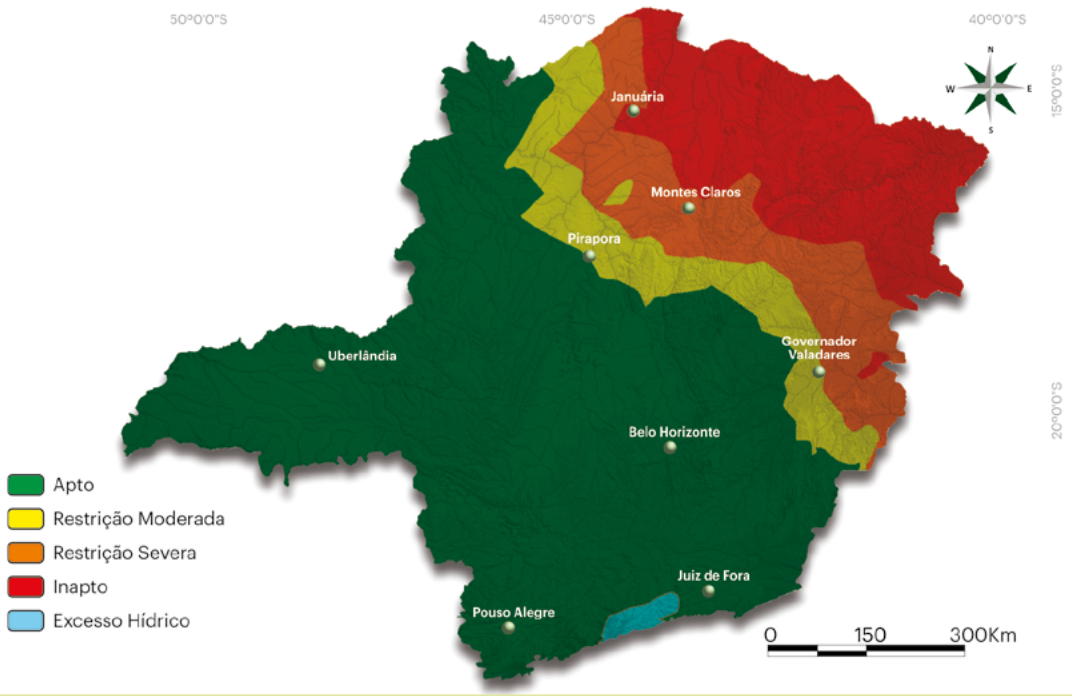


Figura 38 - Aptidão climática para o cultivo da soja no estado de Minas Gerais
Fonte: Os Autores

CAPIM ELEFANTE - *PENNISETUM PURPUREUM SCHUM.*

O metabolismo C4 confere alta eficiência fotossintética. Correa et al. (2006) reportam a temperatura base inferior (TBI) que limita seu crescimento vegetativo em 15,6ºC. Vale e Azevedo (2013), condicionam o crescimento da cultura em locais com precipitações média anuais acima de 800 mm. A Figura 39 apresenta o zoneamento agroclimático para o capim elefante.

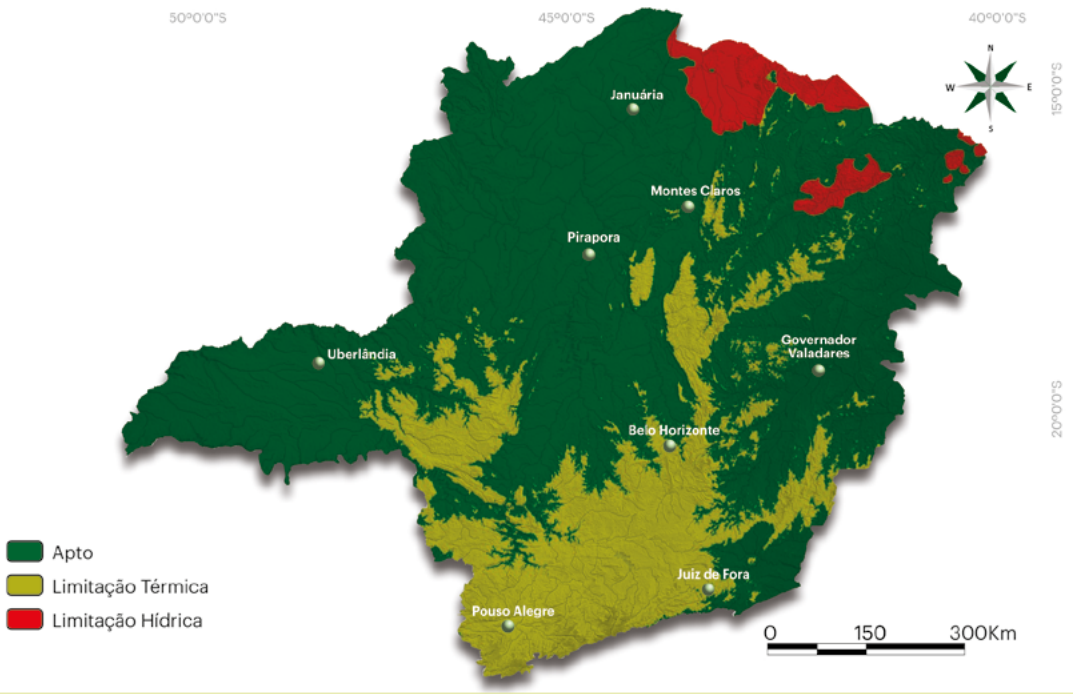


Figura 39 - Áreas homogêneas de Minas Gerais para o cultivo do Capim Elefante.
Fonte: Os Autores

Fonte: Drexel.edu

3

FONTES DE BIOMASSA

Luciano Sathler dos Reis
Ruibran Januário dos Reis
Maria Lúcia Calijuri
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
Benedito Rocha Vital
Adriano Henrique Ferrarez
Adriano da Silva Antônio
Delly Oliveira Filho
Eduardo de Aguiar do Couto
Fabrício Rodrigues Costa
Juliana Ferreira Lorentz
Melina Amoni Silveira Alves
Paulo Fernandes Trugilho
Paula Peixoto Assemany
Roberto Rodrigues Avelar
Sabrina do Carmo Alves
Thaisa Ribeiro Teixeira
Lilianne Aparecida Lopes de Oliveira

3.1 CAFÉ

O cafeeiro é um arbusto da família *Rubiaceae* e do gênero *Coffea*, da qual se conhecem 103 espécies (FIGURA 40).

Desde 1840, o Brasil é um dos maiores líderes do mercado cafeeiro mundial (ORSINI, 2012). Importantes centros urbanos no interior dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Rondônia surgiram graças à ocupação do café nas suas montanhas e vales (ABIC, 2017). No ano de 2016, 6,44% das exportações do agronegócio brasileiro foi representado pelo café, ocupando a 5ª posição no ranking, com receita de US$ 5,47 bilhões. Os principais destinos foram Alemanha, Estados Unidos, Itália, Japão e Bélgica (CONAB, 2017).

Figura 40 - Grão e plantação de café.
Fonte: Federação dos Cafeicultores do Cerado

Diante do cenário de grande oferta do café no mercado nacional e internacional, a cadeia produtiva desse grão no Brasil faz com que o setor se profissionalize, produza e comercialize, cada vez mais com eficácia e qualidade. As vantagens do país para a produção de café incluem tanto as condições climáticas e propriedades dos solos, quanto as tecnologias já desenvolvidas (ABIC, 2017).

O café é rico em óleos, sendo que o café do tipo arábica contém 12 a 18% e o robusta de 9 a 14%. Estes óleos são constituídos por ácido palmítico (34,5%) e linoleico (40,3%). Os ácidos graxos do café são semelhantes aos dos óleos vegetais. (TURATTI, 2001; VIDAL, 2001). Uma colheita de café com 36,9 e 38,8 milhões de sacas de 60 quilos geram

314 mil toneladas de biodiesel a partir da borra do café, com isso pode se suprir mais de 20% da produção. (ANP, 2009; EBC 2009).

O óleo de café é extraído por solvente ou prensagem, e na sua composição química são encontrados os esteróis, que possuem propriedades cosméticas de retenção de umidade, penetração na pele, aderência, entre outras, que são utilizados em cremes cosméticos. Por outro lado, o café pode ser empregado na fabricação de produtos alimentícios tais como: em recheios de balas, como realçados do sabor de café, no café solúvel, na preparação do café gelado, café entalado, cappuccinos, pudins, produtos que utilizam leite, produtos de confeitaria, sobremesas e sorvetes (TURATTI, 2001).

O café contém outro tipo de subproduto, as suas cascas. Elas normalmente são jogadas no lixo, ou utilizados para a forração dos terrenos dos cafezais ou para a restituição dos fertilizantes retirados pela planta. Porém, a casca tem um grande potencial energético, que pode substituir a lenha, ou pode ser utilizado em empresas que utilizam madeira na geração de energia, pois a casca de café é mais econômica e ecológica. (ABIC, 2011)

De acordo com Vale (2011), a casca de café, assim como outras biomassas, pode gerar eletricidade em termoelétricas, a partir de combustão em fornalhas, gerando energia na forma de calor e vapor, que por sua vez é utilizado para a produção de energia elétrica.

CULTIVO

As espécies de café mais cultivadas e economicamente mais importantes incluem o *Coffea arabica*, conhecido como café arábica, *Coffea canephora* e *Coffea conillon*, também chamado de café robusta. Normalmente, a colheita do café acompanha um calendário definido que começa em março e termina em outubro, sendo os meses de maio a agosto, o período com cerca de 90% de colheita (CONAB, 2017).

O café arábica é mundialmente o mais produzido e o que contém menor teor de cafeína. Eles são adaptados à regiões de temperaturas agradáveis e altitude elevada, seu plantio é formado por mudas oriundas de sementes, seus galhos são pequenos e cheios, os seus grãos claros e o seu pó mais fino. Devido a uma complexidade de aromas e sabores, essa espécie se destaca dentre as demais do gênero *Coffea*, se tornando a mais cultivada para o preparo da bebida (ORSINI, 2012), além de apresentar os maiores preços no mercado.

O café robusta é adaptado em regiões de baixas altitudes e altas temperaturas, com grande rusticidade, vigor e resistência a deficiência hídrica. A sua multiplicação pode ser feita por mudas formadas de sementes ou de estacas. Os grãos são amarelados e galhos longos, e são mais resistente a pragas e doenças. Além disso, a sua produtividade é mais elevada do que o arábica (CONAB, 2017). Porém, a sua qualidade é inferior. A sua ampla aceitação do mercado se deve ao preço que é baixo, tornando-o atrativo nas indústrias de café solúvel.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2015, o total de áreas destinadas ao cultivo de café no Brasil foi de 2.002.151 hectares, sendo que a maior parte sua plantação se encontra no sudeste do país (84%). O estado de Minas Gerais obtém cerca de 51% da área plantada no Brasil, conforme apresentado na Tabela 5.

Estado	Área de Cultivo	Estado	Área de Cultivo
Rondônia	86189	Espírito Santo	446090
Acre	1373	Rio de Janeiro	12775
Amazonas	371	São Paulo	204960
Pará	4377	Paraná	38333
Ceará	6136	Mato G. do Sul	1108
Pernambuco	2885	Mato Grosso	20110
Bahia	161936	Goiás	5599
Minas Gerais	1009340		

Tabela 5 - Área de café, por estado, plantado no Brasil - Fonte: IBGE, 2016

Em Minas Gerais, de acordo com IBGE (2014), os municípios que tem contribuição no cultivo do café, estão distribuídos principalmente nas regiões Sul/Sudoeste do estado, com 42% da área plantada.

PRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café no mundo, sendo responsável por 30% de todo o café comercializado no mercado internacional. O segundo maior país exportador é o Vietnã, que responde por 19% das exportações mundiais seguido pela Colômbia com 9,5%. (ABIC, 2017). A produção mundial de café no período de outubro de 2015 a setembro de 2016 foi de 147,994 milhões de sacas de 60kg, cabendo destaque ao Vietnã e Indonésia, que para o período, foram responsáveis por 25% da produção (SANTOS e FERREIRA, 2016). As Tabelas 6 e 7 apresentam a produção mundial, bem como os principais países produtores e a exportação mundial de café, utilizando como unidade volume em mil sacas de 60 kg.

Países	2015		2014		2013		2012		2011	
	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)
*Brasil	43.200	30,13	45.346	31,97	49.152	33,49	50.826	34,44	43.484	31,84
Vietnã	27.500	19,18	27.500	19,39	27.500	18,74	25.000	16,94	26.500	19,40
Colômbia	13.500	9,41	12.500	8,81	12.124	8,26	9.927	6,73	7.652	5,60
Indonésia	11.000	7,67	9.000	6,34	11.667	7,95	13.048	8,84	7.288	5,34
Etiópia	6.400	4,46	6.625	4,67	6.527	4,45	6.233	4,22	6.798	4,98
Índia	5.800	4,04	5.517	3,89	5.075	3,46	4.977	3,37	4.921	3,60
Honduras	5.800	4,04	5.400	3,81	4.568	3,11	4.537	3,07	5.903	4,32
México	3.900	2,72	3.900	2,75	3.916	2,67	4.327	2,93	4.563	3,34
Uganda	4.800	3,35	3.800	2,68	3.602	2,45	3.878	2,63	3.075	2,25
Guatemala	3.400	2,37	3.500	2,47	3.159	2,15	3.743	2,54	3.840	2,81
Peru	2.200	2,23	3.400	2,40	3.338	2,96	4.453	3,02	5.373	3,93
Costa do Marfim	1.800	1,26	2.175	1,53	1.923	1,31	2.046	1,39	1.886	1,38
Nicarágua	2.000	1,39	2.000	1,41	2.017	1,37	1.890	1,28	2.193	1,61
Costa Rica	1.508	1,05	1.508	1,06	1.444	0,98	1.571	1,06	1.462	1,07
El Salvador	680	0,47	680	0,48	537	0,37	1.235	0,84	1.152	0,84
Subtotal	**134.488**		**132.851**		**137.549**		**137.691**		**126.090**	
Outros Paises	8.912	6.21	8.999	6,34	9.196	6,27	9.871	6,69	10.493	7,68
Total	**143.400**	**100,00**	**141.850**	**100,00**	**146.745**	**100,00**	**147.562**	**100,00**	**136.583**	**100,00**

Tabela 6 - Produção mundial e principais países produtores de café - Fonte: Mdic e SECEC, OIC

Exportação Mundial de Café - Principais Países Produtores (volume em mil sacas de 60kg)										
Países	2015		2014		2013		2012		2011	
	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)	Exportação	Part. (%)
*Brasil	37.100	33,48	36.735	32,88	32.010	28,82	28.735	25,39	33.610	32,14
Vietnã	20.200	18,23	25.000	22,38	20.475	18,43	25.475	22,51	17.675	16,90
Colômbia	12.300	11,10	10.954	9,80	9.670	8,71	7.170	6,34	7.734	7,40
Índia	5.100	4,60	5.131	4,59	4.963	4,47	5.288	4,67	5.840	5,58
Indonésia	6.600	5.96	4.548	4,07	10.882	9,80	10.940	9,67	6.185	5,91
Honduras	5.000	4,51	4.261	3,81	4.185	3,77	5.508	4,87	3.947	3,77
Uganda	3.500	3,16	3.442	3,08	3.672	3,31	2.685	2,37	3.142	3,00
Etiópia	2.900	2,62	3.137	2,81	2.870	2,58	3.203	2,83	2.675	2,56
Guatemala	2.900	2,62	3.045	2,73	2.575	2,32	3.750	3,31	3.697	3,54
Peru	2.400	2,17	2.891	2,59	3.971	3,57	4.310	3,81	4.697	4,49
México	2.500	2,26	2.448	2,19	3.132	2,82	3.556	3,14	3.907	2,78
Nicarágua	1.900	1,71	1.900	1,70	1.661	1,50	1.987	1,76	1.468	1,40
Costa do Marfim	1.400	1,26	1.567	1,40	1.942	1,75	1.712	1,51	772	0,74
Costa Rica	1.100	0,99	1.212	1,08	1.344	1,21	1.374	1,21	1.243	1,19
El Salvador	430	0,39	430	0,38	1.103	0,99	1.044	0,92	1.826	1,75
Subtotal	**105.330**		**106.701**		**104.455**		**106.737**		**97.418**	
Outros Países	5.470	4,94	5.027	4,50	6.626	5,97	6.420	5,67	7.155	6,84
Total	**110.800**	**100,00**	**111.728**	**100,00**	**111.081**	**100,00**	**113.157**	**100,00**	**114.573**	**100,00**

Tabela 7 - Principais países exportadores de café - Fonte: Mdic e SECEC, OIC.

No ano de 2015, a produção de café teve um leve crescimento. Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Café (ABIC), o café apresentou uma recuperação de mais de 1,24% em 2014, atingindo 43,2 milhões de sacas. Esta recuperação foi obtida após um aumento de 0,86% nos doze meses entre novembro de 2014 e outubro de 2015, com o complemento de 20,508 milhões de sacos. O seu consumo per capita também obteve um aumento. Para o café torrado esse aumento foi de 4,90 kg/habitante e para o moído de 6,12 kg de café verde em grão, o que equivale a 81 litros/habitante/ano (ABIC, 2015).

A evolução de consumo interno de café no Brasil, no período compreendido entre 2000 até o mês de outubro de 2015, em milhões de sacas de 60 kg de café esta apresentada na Figura 41.

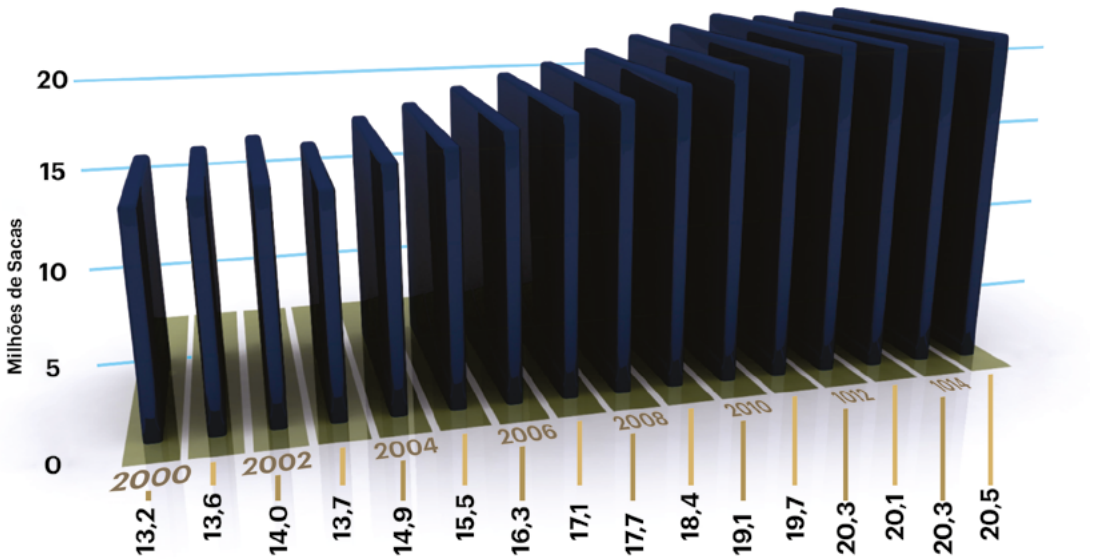


Figura 41 - Evolução do consumo interno de café no Brasil - Fonte: ABIC, 2016

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2014, foram produzidas 2.645.494 toneladas de café no Brasil, sendo que a maior parte de sua produção se encontra no sudeste do país (85%). O estado de Minas Gerais obtém cerca de 51% de sua produção do Brasil. A Tabela 8 apresenta a produção total de café por estado.

Estado	Quant. Produzida (toneladas)	Estado	Quant. Produzida (toneladas)
Rondônia	84.734	Espírito Santo	618.262
Acre	2.229	Rio de Janeiro	17.097
Amazonas	2.011	São Paulo	254.376
Pará	993	Paraná	80.304
Ceará	1.713	M. Grosso do Sul	1.333
Pernambuco	893	Mato Grosso	7.175
Bahia	209.108	Goiás	18.123
Minas Gerais	1.345.834	Distrito Federal	1.309

Tabela 8 - Produção de café, por estado, no Brasil - Fonte: IBGE, 2016

Minas Gerais é o estado de maior produção de café, de acordo com IBGE (2015). A produção está distribuída principalmente nas regiões Sul/Sudoeste do estado. A Figura 42 permite observar a produção total de café entre os anos de 2010-2015.

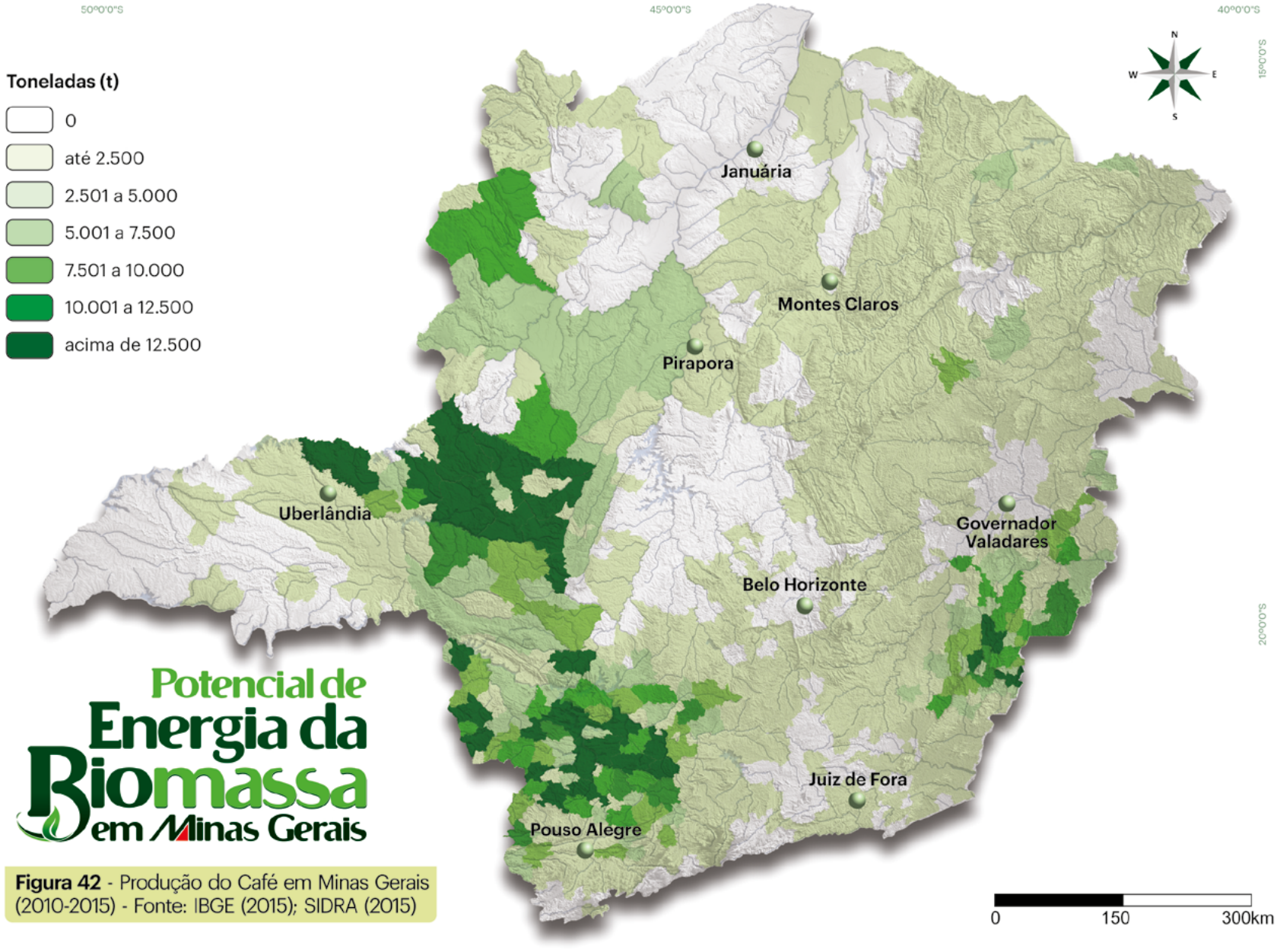


Figura 42 - Produção do Café em Minas Gerais (2010-2015) - Fonte: IBGE (2015); SIDRA (2015)

3.2. CANA-DE-AÇUCAR

A cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum L.*, da família *Poaceae*, surgiu na ilha de Nova Guiné, no meio do oceano pacífico e se espalhou para o mundo gradualmente, junto com a migração humana (NOVA CANA, 2017). Cultura semi-perene (após o plantio, pode ser cortada várias vezes antes de ser replantada), possui ciclo produtivo de seis anos, em média, com cinco cortes (NOVA CANA, 2013). Cultivada em locais de clima tropical ou sub-tropical, sendo que a altura da espécie está diretamente ligada à quantidade de sol que ela recebe.

Por muito tempo o Brasil teve a hegemonia da produção de cana-de-açúcar. A descoberta do ouro (final do século XVII) em Minas Gerais, retirou o primeiro lugar na geração de riquezas (UDOP, 2017). Por muito tempo, o açúcar representou valores de produção maiores que todos os outros produtos agrícolas (UDOP, 2017). O aumento da concorrência se deu a partir do século XVIII com o crescimento da produção nas ilhas do Caribe e Antilhas, cabendo ao Haiti (então colônia francesa) o título de maior produtor mundial (UDOP, 2017). O incentivo de Napoleão à produção do açúcar a partir da beterraba, reduziu a dependência das colônias e de outros lugares de além-mar.

Da cana-de-açúcar se faz dois produtos essenciais para a economia mundial: o açúcar, indispensável na alimentação humana, e o álcool como combustível para veículos (etanol). Hoje, da planta da cana, pode-se aproveitar quase tudo: o bagaço pode gerar energia elétrica, biogás e papel e das cinzas do bagaço, adubo potássico-fosfatado (CRISPIM & VIEIRA, 2009). A vinhaça – resíduo pastoso, resultado da destilação da garapa fermentada para a obtenção de etanol – pode ser utilizada na fertirrigação, visando uma maior produtividade e redução no uso de fertilizantes químicos (NOVA CANA, 2013), além da produção de biogás.

Outra tecnologia de reaproveitamento da biomassa da cana é a produção do etanol de segunda geração, que consiste basicamente na conversão da porção lignocelulósica, presentes no bagaço e na palhiça, em açúcares fermentáveis para a produção de etanol. Contudo, esta promissora tecnologia, ainda necessita de mais desenvolvimento para competir com as demais (BRASSOLATTI et al. 2016)

CULTIVO

O parque produtor de cana-de-açúcar no Brasil conta com aproximadamente 400 usinas de processamento, alimentadas por aproximadamente 70 mil produtores da matéria-prima (AGRIC, 2017). Esta produção se concentra principalmente no Sudeste do país, sendo o estado de São Paulo o responsável por cerca de 60% da produção nacional em 2015 (IBGE, 2015). A região Centro-Oeste tem se tornado polo de expansão, principalmente devido aos menores preços de terras. A área plantada de cana é de aproximadamente 10 milhões de hectares e representa aproximadamente 14% do total de terras cultiváveis no Brasil em 2015 (IBGE, 2015). O cultivo da cana-de-açúcar, geralmente tem se expandido em áreas de pastos, não inibindo a produção de alimentos nem provocando aumento considerável nas taxas de desmatamento, assim como afirmam alguns órgãos internacionais (AGRIC, 2017).

A Tabela 9 apresenta os estados com as maiores áreas plantadas em 2015.

Estado	Área Plantada (ha)	Estado	Área Plantada (ha)
São Paulo	5.576.838,00	Bahia	104.863,00
Minas Gerais	917.878,00	Rio de Janeiro	79.388,00
Goiás	911.847,00	Espírito Santo	76.683,00
Paraná	626.375,00	Rio Grande do Norte	59.491,00
Mato Grosso do Sul	546.099,00	Sergipe	57.258,00
Pernanbuco	315.467,00	Maranhão	47.685,00
Alagoas	308.006,00	Tocantins	36.395,00
Mato Grosso	291.100,00	Rio Grande do Sul	19.508,00
Paraíba	120.559,00	Pará	13.301,00

Tabela 9 – Áreas de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil. - Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (Sidra, 2015), adaptado.

Os oito estados com maior área plantada são responsáveis por 94,5% da produção nacional (CONAB, 2015). De acordo com informações do IBGE, em 2015, o Brasil possuía ao todo 10.161.622 hectares de área plantada com cana-de-açúcar. A região sul tinha 653.913 hectares, a região sudeste 6.650.787 hectares, a região centro-oeste 1.749.502 hectares, a região nordeste 1.047.500 hectares e a região norte possuía 59.920 hectares de área plantada (IBGE, 2015). Portanto, a região sudeste era responsável por 66% de área plantada de cana-de-açúcar (FIGURA 43).

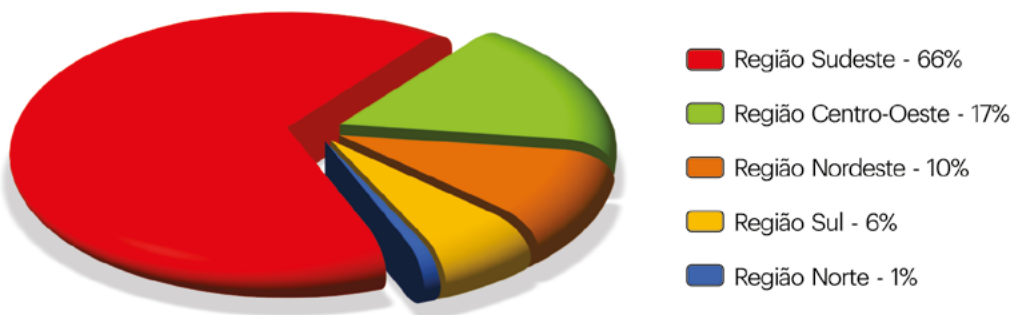


Figura 43 - Cultivo de cana-de-açúcar nas regiões brasileiras. - Fonte: IBGE (2015).

PRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de cana-de-açúcar, embora, nos últimos anos, a falta de investimento no setor, associada às condições climáticas adversas, resultou em produções abaixo da média (OCDE-FAO, 2015).

A região Sudeste, movida pelo estado de São Paulo, lidera a produção da cana-de-açúcar, com aproximadamente, 66% do total e vem seguida pelas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Norte (CONAB, 2015).

Do total da produção da região Sudeste, o estado de Minas Gerais contribuiu com aproximadamente 9% (CONAB, 2015). Dos 853 municípios mineiros, apenas 19% não são produtores. Uberaba e Frutal se destacaram na produção da cana-de-açúcar em 2015, com mais de 5 milhões de toneladas produzidas. De acordo com dados do IBGE (SIDRA, 2015), o Triângulo Mineiro é o maior produtor do estado. A Tabela 10 apresenta os 10 municípios que mais produzem cana em Minas Gerais.

Município	Quant. Produzida (t)	Município	Quant. Produzida (t)
Uberaba	6.266.200	Iturama	2.161.500
Frutal	5.001.040	João Pinheiro	2.158.950
Santa Vitória	3.477.500	Limeira do Oeste	1.936.960
Conceição das Alagoas	3.072.000	Paracatu	1.589.000
Campo Florido	2.595.286	Conquista	1.474.200

Tabela 10 - Municípios maiores produtores de cana-de-açúcar em Minas Gerais
Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (Sidra, 2016).

A Figura 44 apresenta a produção média de cana-de-açúcar em Minas Gerais, para os anos de 2010 a 2015, nos municípios em que a Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais (SIAMIG) tem atuação.

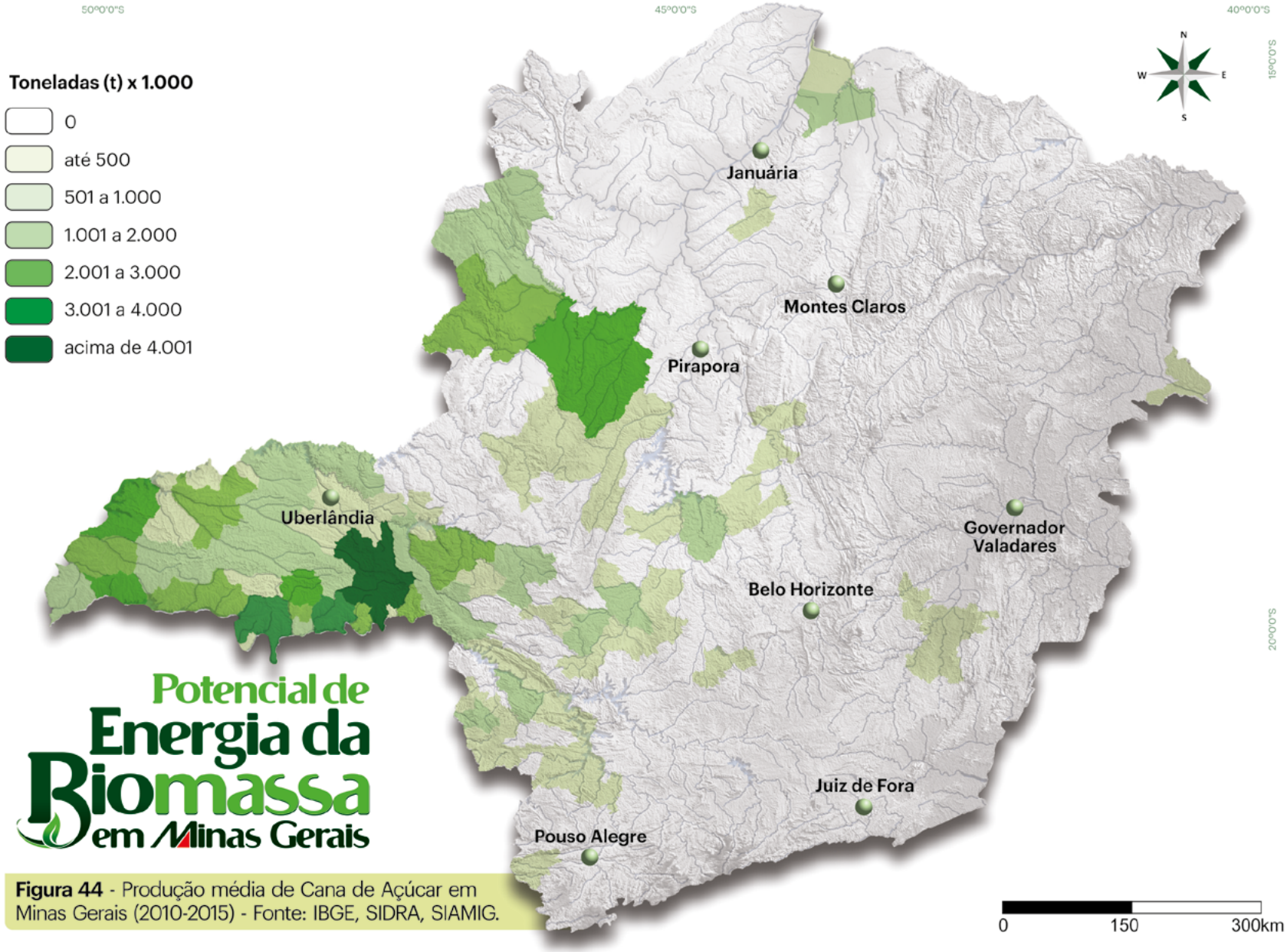


Figura 44 - Produção média de Cana de Açúcar em Minas Gerais (2010-2015) - Fonte: IBGE, SIDRA, SIAMIG.

O estado sofreu o impacto das mudanças no clima, o que prejudicou negativamente a produtividade, mas no final de 2015 foi estimado um incremento de 4,9% na produção em relação à última safra (2014), em razão do aumento de 0,7% na área plantada e de 4,1% na produtividade (CONAB, 2015). A produção de etanol total (anidro e hidratado) teve um acréscimo de 5%, passando de 2.740.844,5 mil para 2.878.566 mil litros e a produção de açúcar foi de 3.097 toneladas (CONAB, 2015).

BAGAÇO E PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Na primeira metade da década de 80, a elevação do uso industrial de biomassa se deu devido à substituição do óleo combustível por carvão vegetal; a produção de álcool utilizando o bagaço de cana-de-açúcar e à expansão da siderurgia a carvão vegetal (INNOCENTE, 2011). A queima da biomassa para produção de energia térmica ou elétrica é uma das formas de sua utilização, assim como a gaseificação e fermentação também têm sido processos utilizados no processamento da biomassa para produção de combustíveis (GENOVESE et al., 2006).

O bagaço (subproduto do processo de moagem) e o palhiço (material remanescente da colheita da cana, sem queimar) apresentam basicamente a mesma composição química elementar: carbono (~45%), hidrogênio (~6%), nitrogênio (0,5 – 1%), oxigênio (~43%) e enxofre (~0,1%) (INNOCENTE, 2011). Salienta-se que um alto poder calorífico está relacionado com a elevada proporção de carbono e hidrogênio, assim como a maior fração de oxigênio tende a reduzi-lo.

De acordo com Vian (2017), o poder calorífico do palhiço equivale ao da madeira e é superior ao do bagaço da cana. Por cada tonelada de cana processada, produz-se aproximadamente 280 Kg de bagaço (ALCARDE, 2017). Um hectare de cana-de-açúcar produz de quatro a nove toneladas de palhiço (VIAN, 2017). A composição do bagaço depende da variedade da cana-de-açúcar, do método de colheita e da eficiência das moendas da fábrica (INNOCENTE, 2011). É constituído de fibra ou celulose, água, açúcares e impurezas, e apresenta uma umidade em torno de 40 – 50%. O poder calorífico do bagaço depende do seu grau de umidade e do teor de açúcar residual (SCHMIDT, 2008). O bagaço da cana-de-açúcar apresenta poder calorífico inferior (bagaço úmido) de 7,53 $MJ.kg^{-1}$ e poder calorífico superior (bagaço após secagem) de 10,56 $MJ.kg^{-1}$ (PAOLIELLO, 2006).

VINHAÇA

A vinhaça é um resíduo orgânico resultante do processo de destilação do mosto para produção de álcool. É rica em nitrogênio, fósforo e potássio, e devido a isso, vem sendo empregada como fertilizante nas lavouras de cana (GRANATO & SILVA, 2002). Além dos nutrientes, a vinhaça contém compostos orgânicos (ácidos orgânicos, álcoois, glicerol, etc) que podem ser convertidos em metano por microrganismos anaeróbios, o que permite a produção de energia renovável por meio da qual destilarias podem melhorar a sua economia e contribuir para um ambiente sustentável (SILVIUS et al., 2016). Antes considerada a grande vilã dos resíduos industriais do setor sucro-alcooleiro, a vinhaça tem recebido o título de subproduto ao invés de resíduo industrial, devido à descoberta

de inúmeras utilizações como a produção de energia elétrica alternativa, sem causar danos ao meio ambiente (GRANATO & SILVA, 2002). De acordo com Lamo (1991), para cada litro de álcool produzido são gerados de 10 a 14 litros de vinhaça. Cada tonelada de cana pode gerar 909,9x10³ kcal de energia (álcool + biogás), sendo que o biogás equivale a 7,5% desse total (LAMO, 1991).

O biogás produzido a partir da digestão anaeróbia da vinhaça pode permitir a geração de energia elétrica, pela utilização de turbinas a gás (GRANATO & SILVA, 2002). É válido ressaltar que a produção de biogás é uma das vantagens da biodigestão anaeróbia (alta redução de DBO, produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento, possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento), cuja finalidade maior é o tratamento dos efluentes (POMPEMEYER & SILVA JUNIOR, 2003).

A relação etanol/biogás (1 m^3 de etanol = 185 m^3 de biogás - 60% de metano), permite estimar o potencial de produção de metano a partir da vinhaça gerada na produção do etanol proveniente da cana-de-açúcar (POMPEMEYER & SILVA JUNIOR, 2003). O poder calorífico do biogás depende do teor de metano e do grau de umidade do gás (NOGUEIRA, 1986). O valor frequentemente adotado para o biogás, com 60% de metano é de 5.500 kcal/m^3, que se desumidificado, com consequente remoção do dióxido de carbono, pode chegar a valores próximos ao do metano puro, isto é, 9.000 kcal/m^3 (POMPEMEYER & SILVA JUNIOR, 2003).

A quantidade de biogás que pode ser produzido a partir de 1 m^3 de vinhaça varia entre 7 e 15 Nm^3, o que corresponde a 37~78 kW de energia térmica ou 17~37 kW de energia elétrica (SILVIUS et al., 2016). O biogás produzido pode ser usado em caldeiras (substituindo o bagaço), motores estacionários para gerar energia elétrica ou como combustível na frota de caminhões e tratores (substituindo o diesel) (SILVIUS et al., 2016).

3.3. EFLUENTES LÍQUIDOS DE ANIMAIS

O Brasil ocupa posição de destaque na produção pecuária, sendo importante fornecedor de proteína animal para a população mundial. A pecuária brasileira experimentou importantes ganhos de produtividade, abrangendo os segmentos de bovinocultura, avicultura e suinocultura, com aumento da produção de carnes de 46% no período de 2003 a 2013, atingindo 25,7 milhões de toneladas em nesse último ano (MAPA, 2014).

A produção pecuária nacional exerce grande impacto nas exportações brasileiras, além de abastecer o mercado interno. O país possui significativa variedade de rebanhos conforme apresentado na Tabela 11.

Efetivo dos rebanhos (Cabeças)						
Tipo de Rebanho	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Bovino	209.541.109	212.815.311	211.279.082	211.764.292	212.366.132	215.199.488
Bubalino	1.184.511	1.278.075	1.261.922	1.332.284	1.319.478	1.365.636
Equino	5.514.253	5.510.601	5.363.185	5.312.076	5.450.601	5.551.238
Suíno - total	38.956.758	39.307.336	38.795.902	36.743.593	37.930.307	40.332.553
Suíno - matrizes de suínos	-	-	-	4.615.201	4.753.248	4.826.495
Caprino	9.312.784	9.386.316	8.646.463	8.779.213	8.851.879	9.614.722
Ovino	17.380.581	17.668.063	16.789.492	17.290.519	17.614.454	18.410.551
Galináceos (Total)	1.238.912.537	1.268.209.405	1.245.269.485	1.246.637.953	1.320.749.401	1.332.078.050
Galináceos (Galinhas)	210.761.060	216.219.543	213.230.493	219.681.760	223.913.652	222.121.443
Codornas	12.992.269	15.567.634	16.436.164	18.171.955	20.332.003	21.986.842

Tabela 11 - Efetivo de rebanhos no Brasil entre os anos de 2010 e 2015.
Fonte: IBGE/PPM (2015).

A Figura 45 apresenta os quantitativos da participação do país na produção (Figura 45a) e na exportação (Figura 45b) das carnes bovina, suína e de frango no ano de 2016.

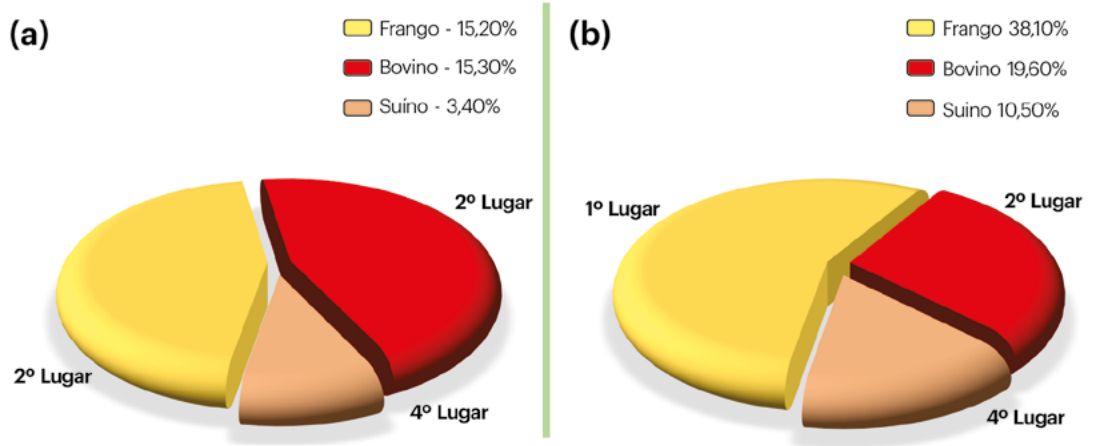


Figura 45 - Quantitativos da participação do país: a) na produção; b) na exportação das carnes bovina, suína e de frango em relação ao resto do mundo. Fonte: EMBRAPA (2017).

A produção animal intensiva pode ser considerada uma atividade de grande impacto ambiental negativo, devido a geração de grande quantidade de dejetos. Nesse contexto, a digestão anaeróbia surge como potencial alternativa para o tratamento desses dejetos, pois além de possibilitar a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos resíduos, promove a geração do biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia renovável e permite a reciclagem de nutrientes do efluente, podendo ser utilizado como biofertilizante (BLEY JÚNIOR et al., 2009).

Em princípio, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis. A digestão anaeróbia é um processo frequentemente empregado na conversão de rejeitos em produtos de valor agregado e ocorre por meio de quatro reações principais:

I - hidrólise – polímeros orgânicos complexos são decompostos em monômeros como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos por bactérias hidrolíticas;

II - acidogênese – monômeros orgânicos são convertidos em hidrogênio, bicarbonato, ácidos acético, propiônico e butírico e outros compostos orgânicos, tais como etanol e ácido lático por bactérias acidogênicas;

III - acetogênese – oxidação de compostos orgânicos reduzidos gerando acetato ou hidrogênio e dióxido de carbono por ação de bactérias acetogênicas;

IV - metanogênese – produção de metano por *archaeas* metanogênicas acetoclásticas e *archaeas* metanogênicas hidrogenotróficas.

V - Na Figura 46 é apresentado o esquema dos processos que compõem a digestão anaeróbia.

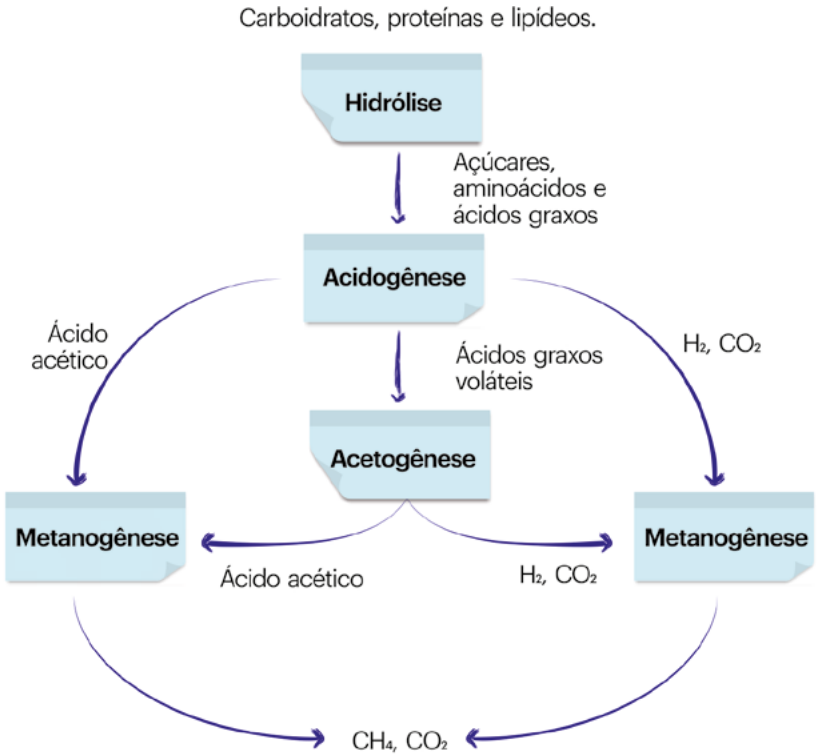


Figura 46 - Degradação da matéria orgânica pela digestão anaeróbica.
Fonte: Adaptado de Li et al. (2011).

A conversão de matéria orgânica em biogás por meio da digestão anaeróbia produz essencialmente metano e dióxido de carbono, além de pequenas quantidades de outros gases, como sulfetos e gás hidrogênio.

Os digestores anaeróbios têm sido largamente aplicados para o tratamento de resíduos sólidos, incluindo culturas agrícolas, dejetos de animais, lodos de estações de tratamento de efluentes e resíduos sólidos urbanos, estimando-se que milhões de digestores anaeróbios tem sido construídos em todo mundo, com esse propósito (CHERNICHARO, 2007). Algumas vantagens do processo anaeróbio conferem aos reatores um grande potencial de aplicabilidade. Dentre elas, destacam-se: o baixo consumo de energia, baixos custos de operação e implantação, tolerância a elevadas cargas orgânicas e baixa produção de sólidos (CHERNICHARO, 2007).

Segundo Castanho e Arruda (2008), os tipos de biodigestores mais usados são os modelos canadense, chinês e indiano. O biodigestor modelo Canadense (FIGURA 47) é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria que possui largura maior que a profundidade, o que permite uma grande exposição ao sol e maior produção de biogás, devido à elevação da temperatura. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla, pois é feita de material plástico maleável (PVC). O alto custo da cúpula inflável pode ser considerado como a principal desvantagem desse tipo de biodigestor.

Figura 47 - Biodigestores do tipo canadense.
Foto - Unidades de Captação de Biogás. Divulgação/Eletrosul. | www.wp.clicrbs.com.br

O biodigestor modelo Chinês (FIGURA 48) foi desenvolvido voltado às pequenas propriedades rurais. É constituído de um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo para ocupar menos espaço (CASTANHO E ARRUDA, 2008). Esse tipo de reator dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo assim os custos de implantação. No entanto, problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada podem ocorrer (DEGANUTTI et al., 2002).

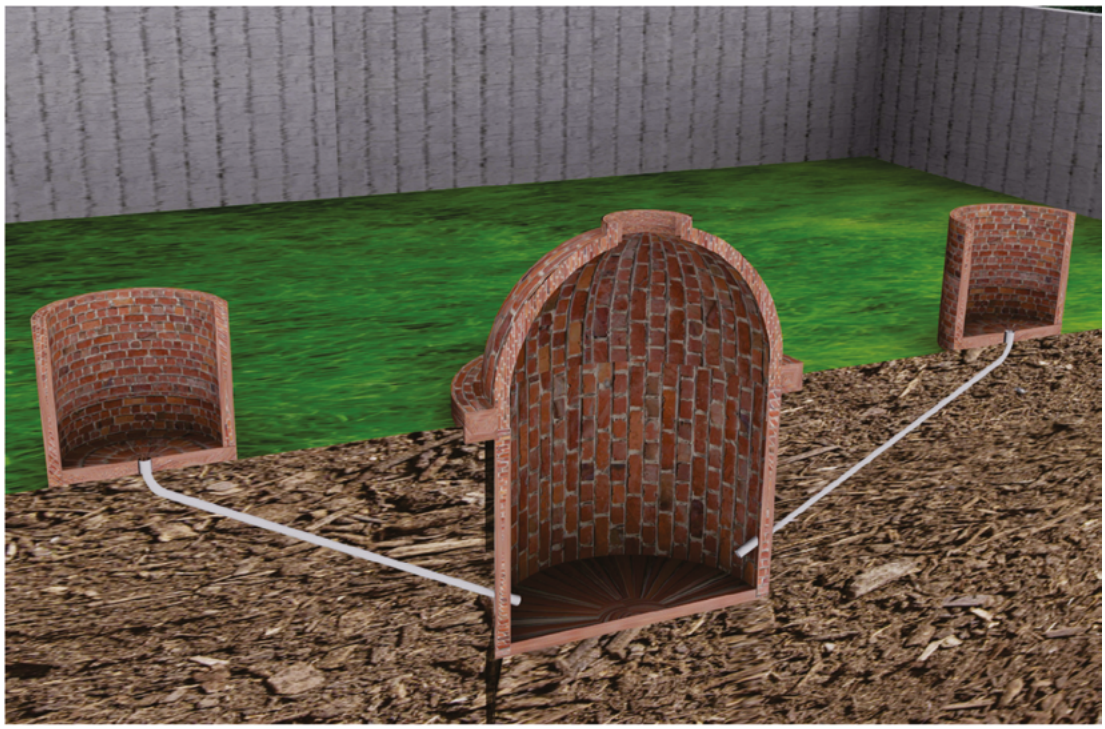


Figura 48 - Biodigestor do tipo chinês: Representação tridimensional em corte.

O modelo de biodigestor indiano (FIGURA 49) caracteriza-se por possuir uma campânula móvel como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em digestão, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. Possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste (DEGANUTTI et al., 2002).

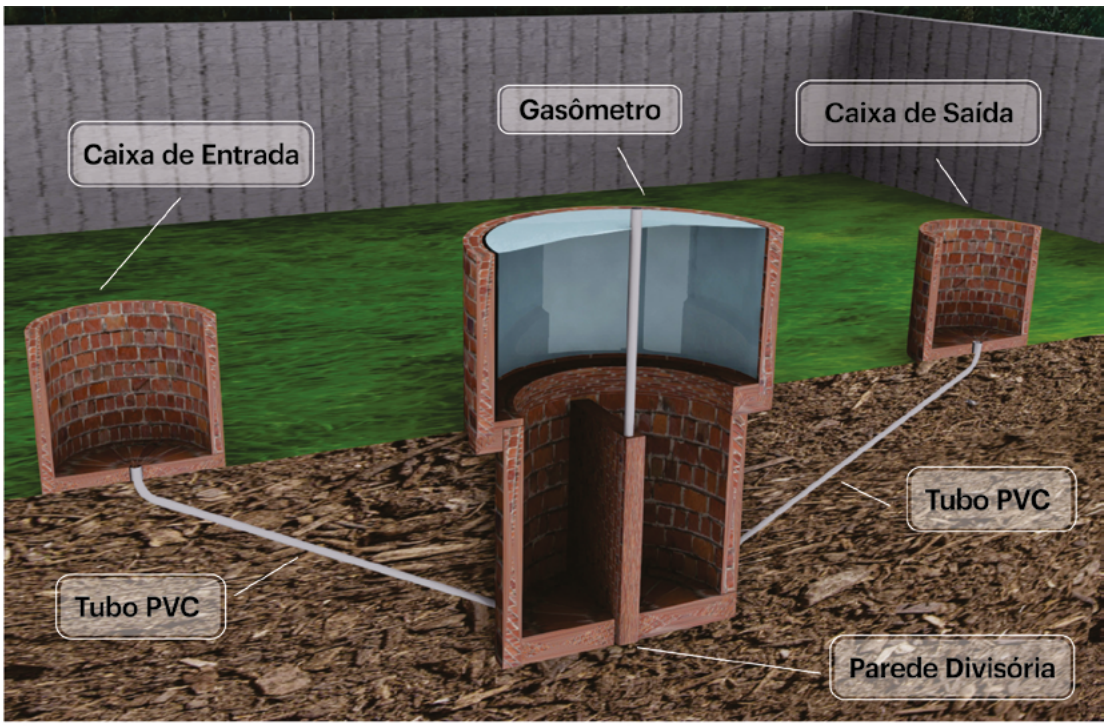


Figura 49 - Biodigestor do tipo indiano: Representação tridimensional em corte.

RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE AVES

O Brasil ficou em 2º lugar no ranking mundial de produção de frango de corte, com 12,9 milhões de toneladas em 2016, sendo 4,38 milhões destinadas à exportação. O consumo per capita de carne de frango no país nesse mesmo ano foi de 41,1 kg (ABPA, 2016).

Dados da Pesquisa Trimestral de abate de animais do IBGE (IBGE, 2017) revelaram um número recorde de abate de frango em 2016 com 5,86 bilhões de cabeças, refletindo um aumento de 1,1% em relação ao ano anterior. Minas Gerais se apresentava no ano de 2015 como o quinto maior estado em termos de abate da ave no Brasil, com 7,25% de todo o país, com rebanho de 124.929.454 de cabeças de galináceos. No mesmo ano, o Paraná, além da primeira colocação no abate de frango, também foi o estado com a maior quantidade exportada no Brasil, sendo 35,7% do total, enquanto Minas Gerais representou cerca de 4,67% das exportações do país (ABPA, 2016). A Figura 50 apresenta o ranking dos estados brasileiros para o efetivo dos rebanhos (cabeças) de galináceos total.

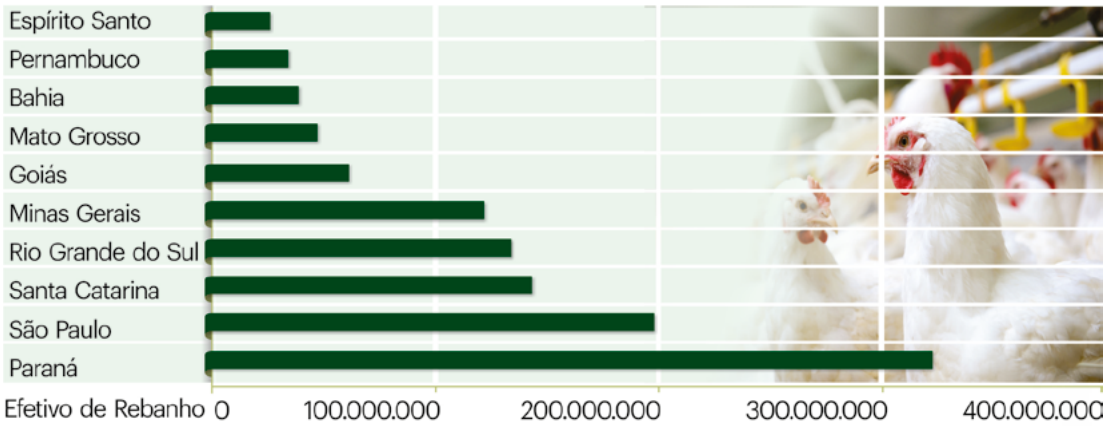


Figura 50 - Efetivo do rebanho (cabeças) de galináceos total dos estados brasileiros no ano de 2015. - Fonte: IBGE/PPM (2015).

A Tabela 12 apresenta o efetivo do rebanho de galináceos dos 10 municípios do estado de Minas Gerais com maior rebanho no ano de 2015. Os municípios de Uberlândia, São Sebastião do Oeste e Pará de Minas se destacam positivamente, com um rebanho superior a 9 milhões de cabeças.

Município de Minas Gerais	Efetivo de rebanho (cabeças)
Uberlândia	14.922.260,00
São Sebastião do Oeste	10.154.428,00
Pará de Minas	9.571.995,00
Uberaba	5.553.200,00
Itanhandu	5.447.891,00
São José da Varginha	5.416.250,00
Montes Claros	2.722.788,00
Igaratinga	2.379.000,00
Monte Alegre de Minas	2.339.889,00
Barbacena	2.265.500,00

Tabela 12 - Efetivo do rebanho de galináceos dos 10 municípios do estado de Minas Gerais com maior rebanho no ano de 2015. - Fonte: IBGE/PPM (2015).

Os resíduos mais significantes gerados no setor de avicultura (principalmente no processo de abate para a produção de carne de frango) que não são aproveitados para o consumo humano ou para a sua comercialização são: vísceras, penas, sangue, cabeças, peles, gorduras, ossos e carcaças (SCHNEIDER et al., 2012). Entre esses resíduos está a cama de frango, como é chamada a composição de dejetos de frango com o material suporte usado nos aviários.

A geração de resíduos para cada quilo de frango de corte é de aproximadamente 0,085 kg (SCHNEIDER et al., 2012). Na Tabela 13 são apresentadas as quantidades de resíduos sólidos gerados diariamente em um abatedouro de frangos, discriminada por tipo de dejeto.

Tipo de resíduo	Quantidade (kg/unidade de ave)
Penas	0,112
Vísceras cruas	0,158
Cabeças	0,042
Pés	0,009
Peles	0,009
Gorduras	0,002
Ossos	0,036
Resíduos de cama de aviário	0,006
Restos de carcaças (resíduos)	0,110
Borra do flotador	0,055
Sangue	0,085 (L/unidade de ave)
Efluente líquido	0,015 (m^3/unidade de ave)

Tabela 13 - Quantidade de resíduos sólidos gerados na produção diária de um abatedouro de frangos. - Fonte: Adaptado de Padilha et al. (2005); Schneider et al. (2012).

Com base no aproveitamento dos resíduos para a produção de novos produtos, como ração animal, Schneider et al. (2012) afirma que do total de resíduos gerados em abatedouros de aves, os que possuem maior potencial para serem utilizados na produção de biogás e posterior conversão em energia são os resíduos da cama aviária, a borra do flotador e o efluente líquido.

RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE BOVINOS

Nos últimos anos o Brasil tem se destacado como um importante produtor e exportador mundial de carne bovina. O Produto Interno Bruto (PIB) da pecuária bovina de corte é o maior entre as cinco cadeias produtivas do agronegócio brasileiro (Canal Rural, 2016). Em relação ao rebanho leiteiro, a produção está entre as seis mais importantes da agropecuária brasileira ficando à frente do café beneficiado e arroz, sendo que para cada dólar de aumento na produção do leite, aumenta-se cinco dólares no PIB (BB, 2010).

O sistema de criação de bovinos comumente utilizado no Brasil é a pecuária extensiva com o rebanho criado solto no pasto e alimentado à base de capim. Os sistemas de confinamento, com o rebanho criado à base de ração e em pequenos espaços, correspondem a 10% do total (BRADESCO, 2017).

O clima e a extensão territorial do país permitem o desenvolvimento da bovinocultura, além de proporcionar lucratividade na cadeia produtiva da carne e do leite, favorecida

também pelos investimentos em tecnologia, capacitação profissional, desenvolvimento de políticas públicas que influenciam todo o processo, controle da sanidade animal e segurança alimentar (PROCREARE, 2017). Os maiores rebanhos bovinos estão presentes nas regiões Centro-Oeste (34,4%), Norte (19,7%) e Sudeste (18,5%).

O inadequado manejo dos dejetos bovinos pode contribuir com a poluição das águas (subterrâneas e superficiais), do ar (pelo lançamento de gases com elevado potencial de intensificação do efeito estufa) e do solo. De acordo com Vieira et al. (1991), os ruminantes são os maiores produtores de dejetos, devido à qualidade e a natureza dos alimentos que ingerem.

Partindo de uma base técnica rudimentar, nos anos 70, a bovinocultura já representava uma das mais importantes atividades econômicas da agropecuária brasileira (BATISTELLA et al., 2011). Atualmente o Brasil possui o maior rebanho comercial de gado bovino do mundo, com aproximadamente 216 milhões de cabeças (IBGE, 2015), ocupando aproximadamente 20% do território nacional (BATISTELLA et al., 2011). Na bovinocultura de corte, 89% das criações são realizadas exclusivamente em pastagens (RESENDE e BITENCOURT, 2005). A produção leiteira em 2015 foi de 35 bilhões de litros, com 21.751.073 vacas ordenhadas, em 1,3 milhão de propriedades, distribuídas por 99% municípios brasileiros, o que coloca o Brasil em quarto lugar, no ranking mundial dos países produtores (ZOCCAL, 2016).

A Tabela 14 apresenta a distribuição do rebanho bovino por região. Minas Gerais se destaca na região Sudeste, em quantidade de rebanho, além de ser o estado detentor do maior rebanho ordenhado do país, sendo 5.423.676 de cabeças (IBGE, 2015).

Efetivo de rebanho bovino por região (2015)

Região	Rebanho
Centro-Oeste	72.705.736
Nordeste	29.092.184
Norte	47.154.969
Sudeste	38.812.076
Sul	27.434.523
Brasil	**215.199.488**

Tabela 14 - Distribuição do rebanho bovino por região brasileira. - Fonte: IBGE/PPM (2015).

A Tabela 15 apresenta os municípios mineiros que se destacam em quantidade de rebanho.

Ranking mineiro do efetivo de rebanho bovino	
Município	**Quantidade de Rebanho**
Prata	414.700
Campina Verde	371.200
Unaí	360.558
Paracatu	298.640
Carlos Chagas	283.130
Santa Vitória	283.000
João Pinheiro	241.084
Carneirinho	237.430
Patos de Minas	228.960
Uberlândia	217.560

Tabela 15 - Municípios com maior rebanho no Estado. - Fonte: IBGE/PPM (2015).

A produção diária de fezes e urina equivale, aproximadamente, a 6% do peso do gado adulto (HADDAD, 1995), e pode atingir até 30 kg por dia. A Tabela 16 apresenta os nutrientes contidos nessas excretas. Junqueira (2011) ressalta que a quantidade de fezes excretada sofre influência de fatores como: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico do animal, quantidade e qualidade do alimento fornecido aos animais, sistema de produção (pasto, confinamento ou semi-confinamento) e estação do ano. A autora ainda aponta que animais estabulados, que recebem diferentes níveis de alimentação, têm uma produção mais elevada de dejetos do que os animais mantidos em pasto.

Elemento	Urina	Fezes
N	76 a 82	18 a 24
K	70 a 90	13 a 30
P	Traços	95+
Mg	10 a 30	70 a 90
S	6 a 90	10 a 94
Ca	Traços	99

Tabela 16 - Forma de excreção dos nutrientes ingeridos (% do total excretado).
Fonte: Wilkinson e Lowrey (1973).

A Tabela 17 apresenta a produção média de dejetos do rebanho bovino estratificado entre leite e corte.

	Gado de leite	Gado de corte
	Produção de dejeto (Kg de animal/dia)	Produção de dejeto (Kg de animal/dia)
Brasil	**316.909.675**	1.338.458.709
Norte	37.597.956	299.164.003
Nordeste	67.721.023	168.866.830
Sudeste	106.168.600	223.152.437
Sul	54.801.360	173.470.573
Centro-Oeste	50.620.735	501.383.633

Tabela 17 - Produção média de dejetos. - Fonte: (IPEA, 2012), adaptado.

O confinamento passou a ser visto como uma ferramenta estratégica para o pecuarista que deseja ganhar em escala no seu sistema de produção e agregar qualidade em seus produtos (JUNQUEIRA, 2011), embora ainda apresente custos elevados, principalmente por conta da alimentação. Caso este modelo vigore, ter-se-á o aumento da densidade populacional bem como da concentração dos resíduos gerados em pequenas áreas, agravando os problemas ambientais, já que na maioria das vezes, os resíduos gerados não recebem nenhum tipo de tratamento ou manejo (JUNQUEIRA, 2011). Estes dejetos, quando manejados e reciclados adequadamente, deixam de ser poluentes e passam a constituir valiosos insumos para um modelo de produção sustentável.

RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

A suinocultura representa grande importância social e econômica para o país ocupando lugar de destaque no agronegócio brasileiro.

O plantel reprodutivo brasileiro segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2016) é de 1.720.255 matrizes, tendo produzido 39.263.964 suínos para abate em 2015. Esse volume, quando se considera as diferentes etapas de produção e consumo, fez com que o Produto Interno Bruto (PIB) da suinocultura no Brasil somasse R$ 62,576 bilhões, ou US$ 18,745 bilhões, se considerado o câmbio de R$ 3,33 estabelecido pelo Banco Central do Brasil (BCB) no fechamento de 2015. Por sua vez, a movimentação de toda cadeia produtiva de suínos foi de R$ 149,867 bilhões (US$ 44,893 bilhões).

Do animal tem-se os mais diversos usos, desde a carne (principal produto) até aplicações farmacêuticas, medicinais, fertilizantes e também bioenergéticos.

Com o aumento da produção, surgiu um impasse para o setor: a destinação e o controle dos dejetos de suínos. O que era antes visto como um grande problema, passou a integrar soluções inteligentes para o aumento da renda dos produtores que investem em tecnologia. O aproveitamento dos resíduos orgânicos oriundos das suinoculturas tem aumentado devido ao interesse não somente pelos aspectos de reciclagem de nutrientes no próprio local e de saneamento, mas também pelo aproveitamento energético do biogás.

No Brasil a produção de suínos vem ganhando destaque nas últimas décadas, resultado dos investimentos em ampliações e também de uma considerável evolução na produtividade das granjas.

Segundo SEBRAE (2016), há variações com relação ao modelo produtivo, de acordo com a região do país. Enquanto no Sul há predomínio de pequenos suinocultores integrados ou cooperados, especializados em determinada fase da produção, a região Sudeste é marcada por produtores independentes com produção de ciclo completo. Destacando que, cada sistema está adaptado ao seu mercado e todos vêm ganhando eficiência e competitividade mantendo um constante crescimento da produção nacional.

Com relação as exportações de carne suína, de acordo com a Figura 51, o país ocupa hoje a quarta posição, ficando atrás apenas da União Europeia, Estados Unidos e Canadá.

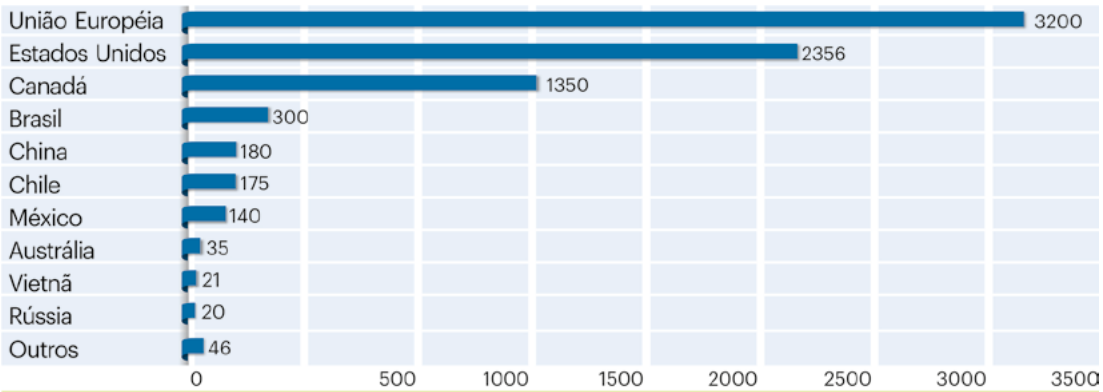


Figura 51 - Ranking mundial de exportação de carne suína. - Fonte: USDA | Foreign Agricultural Service. 2016.

Em 2015, a pecuária suína no Brasil registrou 40,33 milhões de cabeças (TABELA 18), com alta de 6,3% sobre 2014. Desse montante, quase metade da produção está situada na região Sul, com 49,3%, e o Paraná é o estado com maior peso nesta atividade, com 17,7% de todo o rebanho nacional (IBGE/PPM, 2015).

Variável - Efetivo dos rebanhos (Cabeças) - Ano - 2015	
Unidade Territorial	**Tipo de rebanho - Suíno - total**
Brasil	40.332.553,00
Paraná	7134055
Santa Catarina	6792724
Rio Grande do Sul	5948537
Minas Gerais	5047216
Mato Grosso	2849158
Goiás	2033914
São Paulo	1484585
Mato Grosso do Sul	1281775
Ceará	1268342
Maranhão	1231823
Bahia	1216322
Piauí	810313
Pernambuco	611234
Pará	557848
Espírito Santo	347621
Tocantins	295661
Rio Grande do Norte	258078
Rondônia	230569
Paraíba	174533
Distrito Federal	155966
Acre	149776
Alagoas	142577
Sergipe	102336
Rio de Janeiro	78089
Amazonas	62613
Amapá	36355
Roraima	30533

Tabela 18 - Efetivo dos rebanhos suínos no Brasil por estado. - Fonte: IBGE/PPM (2015).

O Estado de Minas Gerais ocupa a quarta posição no ranking nacional com um total de 5,04 milhões de cabeças (12,5% do total). Destaque para os municípios de Uberlândia, Urucânia, Patos de Minas, Jequeri e Pará de Minas que, juntos são responsáveis por 31% da produção do Estado (TABELA 19).

Variável - Efetivo dos rebanhos (Cabeças) - Ano - 2015	
Unidade Territorial	**Tipo de rebanho - Suíno - total**
Uberlândia (MG)	775000
Urucânia (MG)	224220
Patos de Minas (MG)	212845
Jequeri (MG)	205222
Pará de Minas (MG)	148717
Ponte Nova (MG)	139655
Patrocínio (MG)	137500
Monte Alegre de Minas (MG)	112082
Ituiutaba (MG)	91700
Araguari (MG)	73199

Tabela 19 - Efetivo dos rebanhos suínos em Minas Gerais por município.
Fonte: IBGE/PPM (2015).

A quantidade total de esterco produzida por um suíno varia de acordo com seu desenvolvimento ponderal, mas apresenta valores decrescentes de 8,5 a 4,9% em relação a seu peso vivo/dia para a faixa de 15 a 100 kg. Cada suíno adulto produz em média 7 a 8 litros de dejetos líquidos/dia ou 0,21 – 0,24m³ de dejetos por mês. A Tabela 20 apresenta a produção média diária de dejetos.

Categoria	Esterco kg dia^{-1}	Esterco + Urina kg dia^{-1}	Dejetos líquidos L dia^{-1}	Produção m³ animal^{-1} mês^{-1}
Suínos (25-100kg)	2,3	4,9	7,00	0,25
Matriz na gestação	3,60	11,00	16,00	0,48
Matriz na lactação + leitões	6,40	18,00	27,00	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,27

Tabela 20 - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas de suínos.
Fonte: Oliveira (1993).

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e utilizada na higienização, resíduos de ração, pelos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo produtivo (KONZEN, 1980). Já o esterco, é composto por fezes e urina dos animais com textura pastosa ou sólida. No esterco líquido dos suínos há diversos elementos além da matéria orgânica, como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre entre outros de acordo com a dieta do animal (DIESEL, 2002).

De acordo com o sistema de manejo, as características dos dejetos de suíno podem variar consideravelmente, como apresentado na Tabela 21.

Variável	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Média (mg/L)
DQO	11.530,20	38.448	25.542,90
Sólidos totais	12.697,00	49.432,00	22.399,00
Sólidos voláteis	8.429,00	39.024,00	16.388,80
Sólidos fixos	4.268,00	10.408,00	6.010,20
Sólidos sedimentáveis	220	850	428,9
Nitrogênio total	1.660,00	3.710,00	2.374,30
Fósforo total	320	1.180,00	577,8
Potássio total	260	1.140,00	535,7

Tabela 21 - Composição química média dos dejetos suínos (obtida na Unidade do Sistema de Tratamento de Dejetos da Embrapa, Concórdia-SC) - Fonte: Silva (1996).

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO ANIMAL

A partir dos dados da Tabela 43 e da equação 15, calculou-se o potencial energético dos resíduos da produção animal. As Figuras 52, 53 e 54 apresentam o potencial de produção de metano dos resíduos da produção de suínos, bovinos e aves, respectivamente.

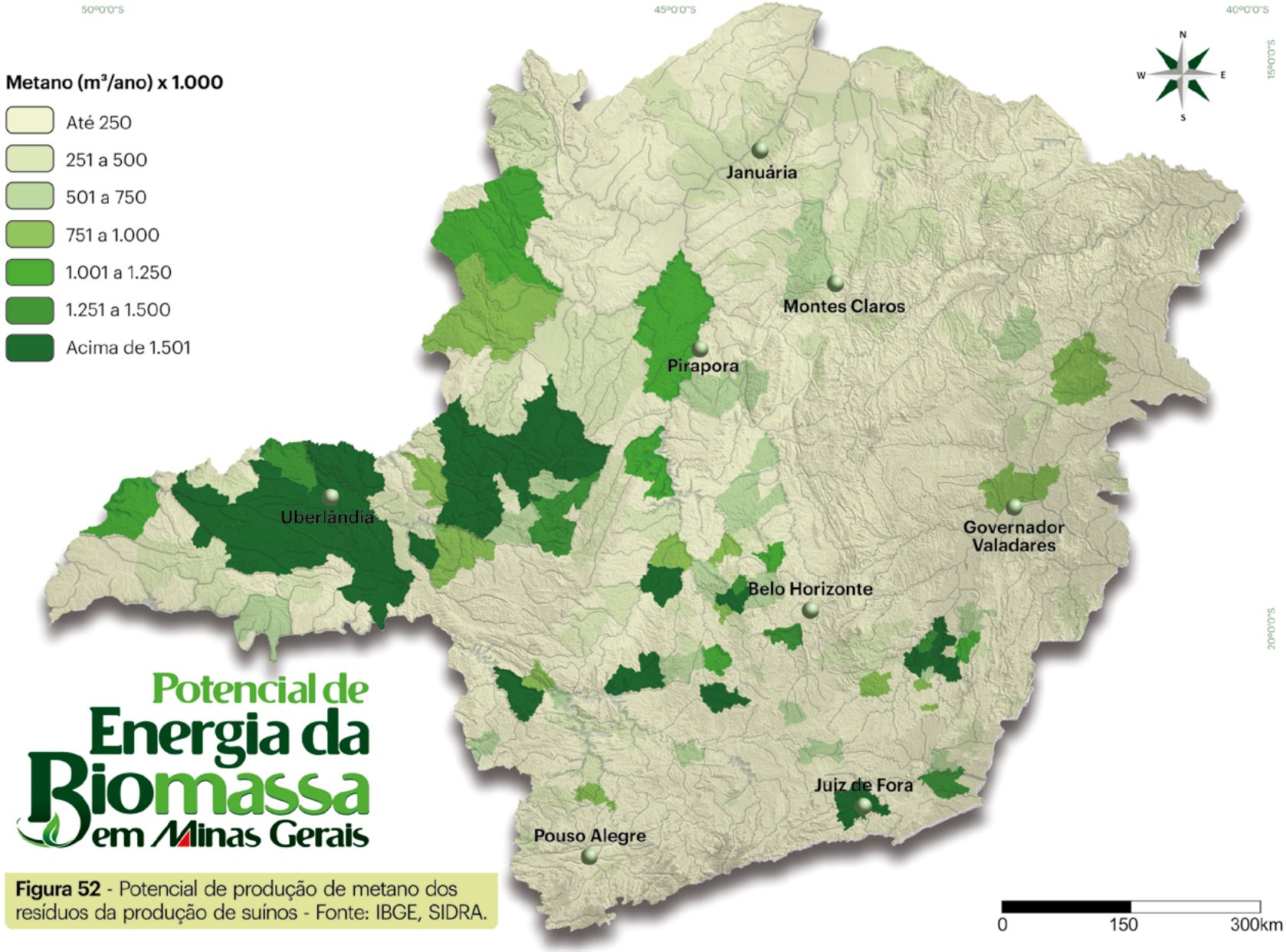
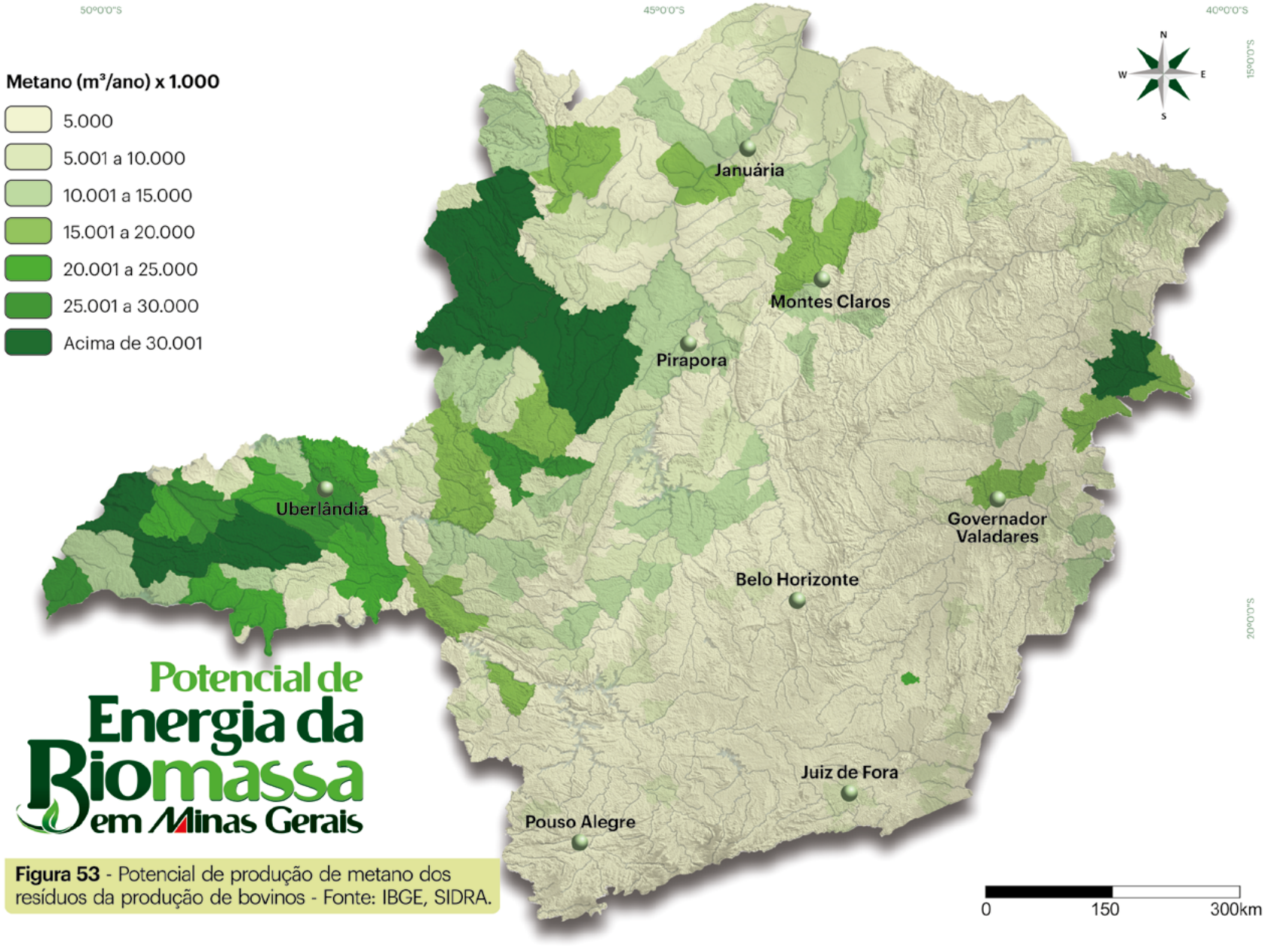


Figura 52 - Potencial de produção de metano dos resíduos da produção de suínos - Fonte: IBGE, SIDRA.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 53 - Potencial de produção de metano dos resíduos da produção de bovinos - Fonte: IBGE, SIDRA.

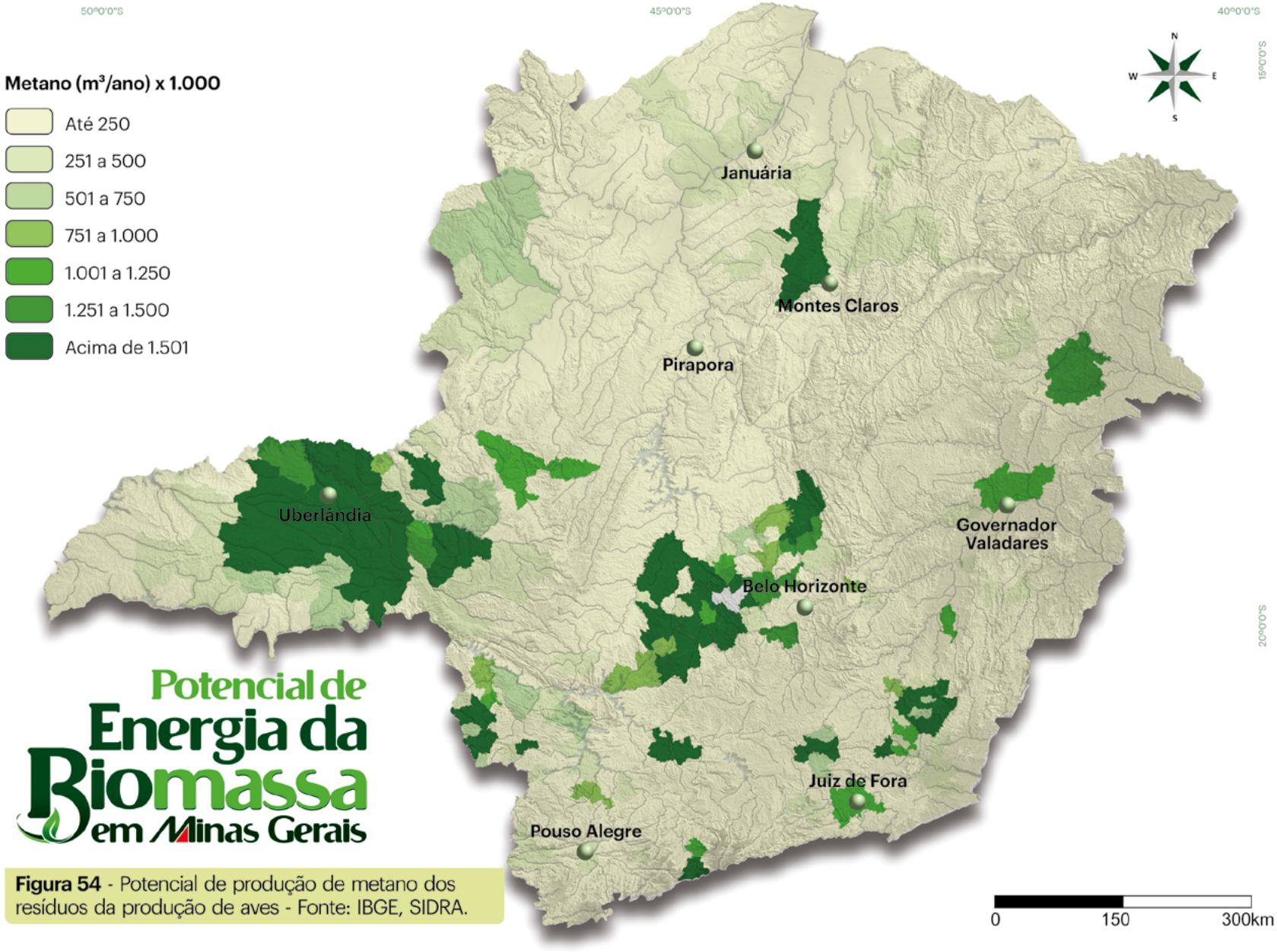


Figura 54 - Potencial de produção de metano dos resíduos da produção de aves - Fonte: IBGE, SIDRA.

3.4 MACAÚBA

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é planta da família *Arecacae*, cujo interesse comercial está no alto teor lipídico da polpa do fruto e da semente. Destaca-se por ser uma palmeira altamente produtiva e nativa do território brasileiro. A Figura 55 ilustra a macaúba e sua semente.

Figura 55 - Macaúba e sua semente

A macaúba é uma planta capaz de produzir grandes quantidades de óleo por unidade de área, além de possuir a capacidade de adaptação a densas populações, que a permite apresentar significativo potencial de produção. Além disso, tem diversas utilidades, com relatos de usos medicinais, alimentícios e cosméticos (NUCCI 2007) e com estudos comprobatórios de potencial para produção de biocombustível, óleos para fins alimentícios e na área oleoquímica (PEREIRA 1996; ARISTONE e OLIVEIRA 2004; NUCCI 2007).

Relatos da utilização de macaúba datam da pré-história (cerca de 9.000 anos a.C.) (MORCOTE-RIOS e BERNAL, 2001). Alguns autores (AZEVEDO FILHO et al., 2012; NOVAES, 1952; BRASIL, 1985) apontam que, nos dias de hoje, os produtos da macaúba são oriundos do extrativismo de plantas ou populações naturais. De acordo com Motta et al. (2002), os principais gargalos para a implantação de plantios comerciais da macaúba seriam a quebra de dormência da semente para produção de mudas e o lento crescimento inicial. A espécie apresenta vasta distribuição espacial (SCARIOT et al. 1995), ocorrendo na América tropical e subtropical, desde o sul do México e Antilhas até o sul do Brasil, chegando ao Paraguai e Argentina (HEDERSON et al. 1995).

CULTIVO

Alguns pesquisadores apontam que, as condições mais favoráveis ao cultivo do coqueiro macaúba são encontradas no Brasil, principalmente no Planalto Central, região do cerrado. Segundo Silva (2007), as altitudes ideais para a produção de macaúba variam de 500 a 1000 metros, com índices pluviométricos superiores a 1000 mm e temperaturas oscilando entre 15 a 35ºC. A cultura não ocorre em regiões de geadas, áreas permanentemente alagadas, áreas litorâneas, áreas montanhosas, clima excessivamente árido e precipitação inferior a 1000 mm. À medida que os palmares se distanciam das proximidades dos rios e córregos e que outras condições ideais sejam limitadas, observa-se um decréscimo do número de indivíduos por área, bem como de cachos e frutos, além do tamanho e peso individuais dos frutos (SILVA, 2007).

No Brasil, a macaúba é considerada a palmeira de maior dispersão, com ocorrência de povoamentos naturais desta espécie em quase todo território. Entretanto, as maiores concentrações estão localizadas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo amplamente espalhada pelas áreas de Cerrado (BONDAR, 1964; SILVA, 1994; HENDERSON et al., 1995). No passado, ela ocorria em abundância também em São Paulo, mas as populações naturais foram sistematicamente substituídas pelo cultivo do café (NOVAES, 1952).

Motta et al. (2002), em pesquisa sobre a ocorrência da palmeira macaúba no estado de Minas Gerais destacaram que a presença das palmeiras era mais numerosa em áreas com solos de fertilidade natural mais elevada, vegetação primitiva de fisionomia florestal, o que reforça o pioneirismo da espécie, evitando extremos de deficiência de nutrientes e de água. Segundo Novaes (1952), no estado de Minas Gerais, nota-se que a distribuição da palmeira é bastante variável e depende, basicamente, do grau de utilização agrícola do terreno e da fertilidade do solo; coincidentemente, os maiores adensamentos estão em locais mais sujeitos ao manejo agrícola. A Figura 56 apresenta a distribuição geográfica da macaúba.

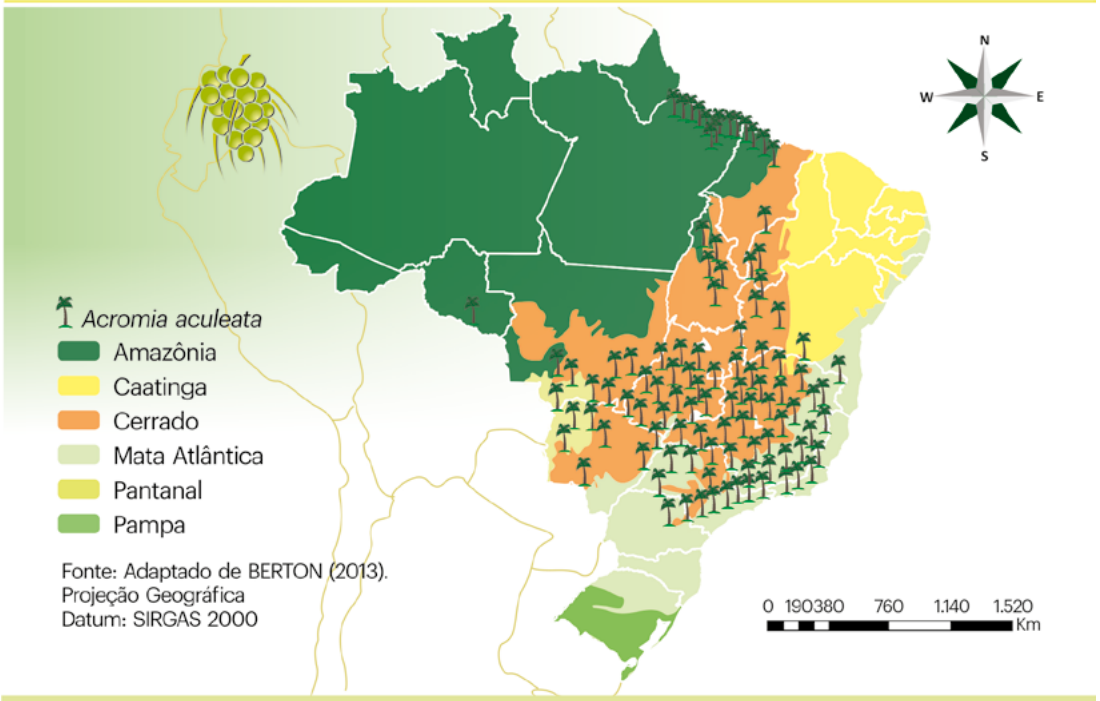


Figura 56 - Distribuição geográfica da Macaúba no Brasil - Fonte: Adaptado de BERTON (2013)

A macaúba apresenta elevada produtividade de óleo e coprodutos a partir do quarto ano de crescimento, com vida útil de exploração superior a 25 anos. Atualmente, sua exploração é realizada de forma extrativista, aproveitando os povoamentos nativos da planta. Para a exploração industrial, faz-se necessária a substituição da atividade extrativista por cultivos racionais e sustentáveis. Para viabilizar esse cultivo é fundamental a seleção de genótipos com características desejadas e a produção de mudas padronizadas para se ter uma população homogênea (MOTOIKE et al., 2011).

Segundo a REMAPE (2016), a macaúba pode ser cultivada com viabilidade econômica em diferentes sistemas de produção, dentre eles: cultivo solteiro, cultivo consorciado, sistema silvipastoril e sistema agrossilvipastoril. O espaçamento e a densidade de plantio dependerão do sistema de produção adotado.

PRODUÇÃO

Com potencial produtivo comprovado, para a espécie *Acrocomia aculeata* observada na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais, as melhores plantas alcançaram 6,9 toneladas/hectare de óleo de polpa, utilizado na produção de biocombustíveis (LOBATO, 2014). Desta forma, a macaúba se caracteriza como uma espécie com qualidades importantes do ponto de vista natural, ecológico e principalmente sócio-econômico (NUCCI, 2007).

Os frutos da macaúba são compostos por cerca de 20% de casca, 40% de polpa, 33% de endocarpo e 7% de amêndoa. A Figura 57 apresenta a composição e subprodutos da macaúba. Os teores de óleo são ligeiramente maiores na polpa (60%), em relação à amêndoa (55%). Da macaúba também se extraem dois tipos de óleo. Da amêndoa é retirado um óleo fino que representa em torno de 15% do total de óleo da planta, rico em ácido láurico (44%) e oléico (26%), tendo potencial para utilizações nobres como na indústria alimentícia, farmacêutica e de cosméticos. O óleo extraído da polpa do fruto é dominado por ácido oléico (53%) e palmítico (19%), e têm boas características para o processamento industrial, tendo maior potencial para a fabricação de biodiesel (BHERING, 2009).

Figura 57 – Composição e subprodutos da macaúba. Fonte: Os Autores

Collares (2010) afirma que as produtividades potenciais por área se assemelham à do dendê, podendo chegar a mais de 4 mil quilos de óleo por hectare. Estimativas feitas com frutos de macaúba de ocorrência no estado de Mato Grosso do Sul, indicam uma produção de biomassa por hectare de 25.000 kg de frutos, o que resultaria na coprodução de 5.000 kg de casca, 700 kg de torta de amêndoa (contendo cerca de 50% de proteína), 10.000 kg de torta de polpa e 7.000 kg de endocarpo, em base úmida (CICONINI et al., 2013).

Segundo Nobre et. al. (2004), o fruto da macaúba é o produto economicamente mais representativo da palmeira. A polpa do coco (adocicada e aromática) é muito apreciada pelas crianças e também é utilizada na ração animal (na engorda de suínos). A torta da polpa pode ser utilizada como adubo e combustível para caldeiras, enquanto o farelo da amêndoa tem ótimo índice de proteína e pode ser utilizado na composição de rações para

animais. A casca do fruto é utilizada em fornalhas, fogões domésticos e em escala industrial para a produção de carvão. Co-produtos como a cinza estão sendo incorporados ao concreto na construção civil para minimizar o uso de cimento (MACHADO et al., 2010).

A produção de energias renováveis com a possibilidade de incorporação produtiva de áreas degradadas ou inaptas à agricultura de alimentos, torna o Brasil um candidato a liderar as cadeias do setor de energia renovável no mundo, com o desenvolvimento do uso de tecnologias inovadoras. O estado de Minas Gerais, indo de encontro às demandas de produção, sancionou a Lei nº 19.485/2011 – Pró-Macaúba, que instituiu a política estadual de incentivo ao cultivo, extração, comercialização, consumo e transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas como fonte de energia renovável.

Segundo a Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais (FAEMG), a região de Dores do Indaiá, na região Centro-oeste do estado de Minas Gerias, se prepara para transformar-se no novo polo de produção de macaúba, voltada à fabricação de bioquerosene para aviação. A Plataforma Mineira de Bioquerosene lançou a Cadeia Extrativista da Macaúba, uma das principais matérias primas para a produção do biocombustível. A Plataforma coordena a implantação da cadeia produtiva do combustível para aviação no estado. O grupo é composto pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico, importantes empresas de aviação civil, como a Boeing, a Embraer, a Gol Linhas Aéreas e a GE do Brasil e a International *Air Transport Association* (Associação Internacional de Transporte Aéreo), além de agências de pesquisa e fomento, como o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Instituto Interamericano de Cooperação Agrícola (IICA) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Atualmente, existem três indústrias operantes usando o sistema extrativista da exploração no estado de Minas Gerais: Dibio, Paradigma Óleos e UBCM. Além do óleo vegetal, que é o produto principal, essas empresas produzem o farelo e sabão e processam no total cerca de 5.000 toneladas de coco de macaúba por ano (comunicação pessoal, professor Leonardo Pimentel, UFV).

No norte de Minas Gerais, na cidade de Montes Claros, a Cooperativa de Agricultores Familiares e Ambiental do Vale do Riachão (CooperRiachão) conta com uma unidade de beneficiamento do coco da macaúba (UBCM) desde 2003. Composta por 46 sócios, a cooperativa compra os frutos coletados por cerca de 350 famílias em maciços localizados num raio de 50 quilômetros da UBCM. A cooperativa produz até 200 caixas com 50 barras de 200 gramas a cada safra. Outro produto é a ração animal, obtida da torta. Ambos são comercializados no varejo de Montes Claros e nos municípios vizinhos Mirabela e Coração de Jesus. O óleo excedente é vendido para a Fertibom, uma empresa de Catanduva (SP) que produz biodiesel (BIODIESELS, 2014).

Adicionalmente ao extrativismo, o cultivo extensivo da macaúba é necessário para garantir uma produção competitiva e rentável para a indústria de processamento. No entanto, a propagação do cultivo ainda é um desafio a ser superado. Pesquisas da Universidade Federal de Viçosa, rede Macaúba de Pesquisa coordenada pelo professor Sérgio Motoike, buscam transformar uma planta selvagem como a macaúba em uma planta agrícola domesticada, desenvolvendo variedades através do melhoramento genético, adubação, controle de praga e doenças na colheita e pós-colheita da macaúba. Em Minas Gerais, atualmente, a utilização da macaúba como fonte produtora de energia reno-

vável tem sido impulsionada pelo Governo procurando atender as diretrizes de sustentabilidade ambiental, social e econômica definidas no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), no entanto o estado não possui nenhuma plantação intensiva.

3.5 MAMONA

A manona, *Ricinus communis L*, pertence à família *Euphorbiaceae*, que engloba um grande número de plantas nativas da região tropical. É considerada uma planta de elevada resistência à seca (AMORIM NETO et al., 2001) e sensível ao excesso de umidade por períodos prolongados em especial, na fase inicial e na de frutificação (SILVA, 1981). A Figura 58 apresenta imagem ilustrativa da semente e da planta.

Silva et al. (2007) apontam que o alto conteúdo de óleo, a facilidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas e a fácil adequação ao sistema de produção agrícola familiar fornecem à mamona um papel de destaque.

Figura 58 - Mamona e sua semente
Fonte: Máira Milani. (http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/mamona/Abertura.html)

De acordo com Azevedo et al. (1997), o óleo de mamona, extraído pela prensagem das sementes, contém 90% de ácido graxo ricinoléico, o que lhe confere características singulares e versáteis e uma ampla gama de utilização industrial só comparável à do petróleo. Mandail (2006) destaca que esse óleo é ideal para motores de alta rotação sendo utilizado em foguetes espaciais e nos sistemas de freios dos automóveis.

De acordo com Cavalcante (2004), o principal produto da mamona é o óleo, sendo a torta e o farelo os principais subprodutos resultantes da sua extração. Filho et al. (2010), informam que a maior parte dos subprodutos da mamona tem sido utilizada como adubo, uma vez que a mamona apresenta fatores tóxicos (ricina e ricinina) e fator alergênico (glicoproteínas CB-1A).

Segundo Cangemi et al. (2010), a mamona foi escolhida pelo Governo Federal como a matéria-prima prioritária do programa biodiesel devido à geração de emprego e renda em regiões pouco favorecidas do país, uma vez que essa cultura envolve uma grande parte de agricultores familiares.

CULTIVO

A mamoneira é uma planta heliófila, assim, precisa estar exposta diretamente ao sol. Tem grande tolerância ao estresse hídrico, porém necessita de solos férteis. Apesar de aceitar bem a seca, com adequada disponibilidade de água sua produtividade é consideravelmente mais elevada. Sua produção também pode ser irrigada. Para cada especificidade climática e condição tecnológica, deve-se procurar escolher um cultivar adequado, pois existe ampla diferença nas características das variedades plantadas no Brasil. A época de plantio da mamona varia de acordo com o estado/região, como apresentado na Figura 2. EMBRAPA (2016b) aponta para a importância de se aproveitar ao máximo o período chuvoso para plantio e o período de seca para a colheita.

Segundo SIDRA (2015), a distribuição da cultura de mamona no Brasil é de 127.057 hectares, sendo predominantemente na região Nordeste (98,7% da área plantada). Nota-se que não há plantação de mamona em 17 estados mais o Distrito federal. Minas Gerais contem menos de 1% da área plantada do Brasil, como pode ser verificado na Tabela 22.

UF/Região	22/09 a 21/12			22/09 a 21/12			22/09 a 21/12			22/09 a 21/12		
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Nordeste												
PI			Plantio	Plantio					Colheita	Colheita	Colheita	
CE						Plantio	Plantio	Plantio	Colheita	Colheita	Colheita	Colheita
RN								Plantio				Colheita
PE				Plantio	Plantio	Plantio	Plantio				Colheita	Colheita
BA		Plantio	Plantio	Plantio						Colheita	Colheita	Colheita
Sudeste												
MG		Plantio	Plantio			Colheita	Colheita	Colheita	Colheita			
SP	Plantio	Plantio	Plantio				Colheita	Colheita				
Sul												
PR				Plantio					Colheita			

Plantio Colheita

Tabela 22 - Calendário de cultivo da Mamona. - Fonte: Adaptado de Conab (2016)

Em Minas Gerais, de acordo com SIDRA (2015), os municípios que tem contribuição no cultivo da mamona, estão distribuídos na região Norte (100% da área plantada do Estado). Sendo que as cidades de Matias Cardoso e Porteirinha lideram o ranking da área plantada (TABELA 23).

Mamona	Área plantada (hectares)	Mamona	Área plantada (hectares)
Matias Cardoso	400	Jaíba	26
Porteirinha	150	Guaraciama	20
Janaúba	80	Nova Porteirinha	20
Monte Azul	80	Catuti	10
Coração de Jesus	70	Januária	10
Espinosa	60	Lagoa dos Patos	10
Itacarambi	50	Mamonas	10
Gameleiras	40	Manga	6
Mato Verde	30	Jequitaí	5
Montalvânia	30	Capitão Enéas	3
Pai Pedro	30	Francisco Sá	3

Tabela 23 - Municípios de Minas Gerais onde há plantio de Mamona - Fonte: IBGE, produção agrícola municipal, 1016.

PRODUÇÃO

Em termos de produção mundial, o Brasil ocupa a quarta posição com um montante de 37.582 toneladas do grão, ficando atrás de países como China (40.000 t), Moçambique (61.790 t) e da líder mundial, Índia, com 1.733.000 toneladas (FAO, 2014). A Tabela 24 apresenta os principais produtores mundiais de mamona.

País	Produção (toneladas)	País	Produção (toneladas)
Índia	1.733.000	Mianmar	10.910
Moçambique	61.790	Paraguai	9.000
China	40.000	Vietnã	7.000
Brasil	37.582	África do Sul	6.100
Etiópia	11.000	Paquistão	6.000

Tabela 24 - Principais produtores e Mamona em 2015. - Fonte: FAOSTAT, 2016

A produção de mamona no Brasil concentra-se na região Nordeste, mais especificamente no Semiárido. A produção dessa planta se dá por pequenos produtores familiares, em consórcio com culturas alimentares e que não usam cultivares melhorados. A Tabela 25 apresenta os estados produtores de mamona no Brasil de acordo com o SIDRA (2015), com grande destaque para a Bahia, que produz a maior quantidade, com um total de

33.541 toneladas. O estado de Minas Gerais é o quarto maior produtor dessa planta do país, com pouco mais de 1.100 toneladas.

País	Produção (toneladas)	País	Produção (toneladas)
Bahia	33.541	Piauí	92
Ceará	1.496	Pernambuco	19
Mato Grosso	1.142	Paraíba	8
Minas Gerais	1.117	São Paulo	4
Paraná	163		

Tabela 25 - Produção de mamona por Estado no Brasil. - Fonte: SIDRA, IBGE (2014).

Em Minas Gerais, a produção de mamona se concentra na mesorregião do Norte de Minas, sendo que Matias Cardoso é responsável pela maior produção, com 560 toneladas da planta, o que corresponde a aproximadamente 50% da produção total do estado. A outra metade da produção está espalhada entre os outros 26 municípios mineiros. A Tabela 26 apresenta a produção estadual da mamona.

Município	Produção (ton.)	Município	Produção (ton.)
Matias Cardoso	560	Serranópolis de Minas	14
Janaúba	100	Riacho dos Machados	12
Porteirinha	98	Catuti	10
Gameleiras	40	Verdelândia	9
Coração de Jesus	35	Rio Pardo de Minas	8
Monte Azul	30	Mamonas	6
Nova Porteirinha	30	Francisco Sá	3
Pai Pedro	30	Jequitaí	3
São João das Missões	30	Manga	2
Guaraciama	24	Pedras de Maria da Cruz	2
Jaíba	18	Capitão Enéas	1
São Francisco	18	Espinosa	1
Mato Verde	17	Salinas	1
Lagoa dos Patos	15		

Tabela 26 - Produção de Mamona em alguns municípios em Minas Gerais. - Fonte: IBGE, produção da extração vegetal e silvicultura (2016)

3.6 MICROALGAS

O termo microalga, apesar de não apresentar valor taxonômico, pode ser definido como "microrganismos que podem crescer fotossinteticamente" (SHEEHAN, 1998). Assim como as microalgas, as cianobactérias, que são bactérias gram-negativas, também

realizam fotossíntese, e podem se desenvolver em ambientes semelhantes. Muitas espécies de microalgas e cianobactérias podem crescer rapidamente, e são consideradas mais produtivas do que plantas terrestres ou macroalgas. Sua reprodução ocorre principalmente por divisão celular vegetativa (assexuada) embora a reprodução sexuada também possa ocorrer em determinadas espécies, em adequadas condições de crescimento (SHEEHAN, 1998).

Existem milhares de espécies de água doce e marinhas, que atualmente vem recebendo grande atenção, devido ao grande potencial para a indústria de biotecnologia, atribuído graças a características como a maior taxa de crescimento em relação a outras espécies vegetais, a possibilidade de cultivo ao longo de todo o ano, a capacidade de crescerem em áreas impróprias para a agricultura e a habilidade de se desenvolverem nos mais diferentes climas (SAVAGE e HESTEKIN, 2013).

Atualmente, as microalgas são comercialmente cultivadas para fabricação de produtos de elevado valor nutricional, com uso em seres humanos e animais, pois são conhecidos efeitos antioxidantes, imunológicos e anticancerígenos, sendo fontes de produtos de alto valor agregado como carotenoides e ômega 3. Benemann (2009) estima que a produção anual em todo o mundo seja algo em torno de 10.000 toneladas. A Figura 59 apresenta os países produtores de biomassa algal para fins alimentícios.

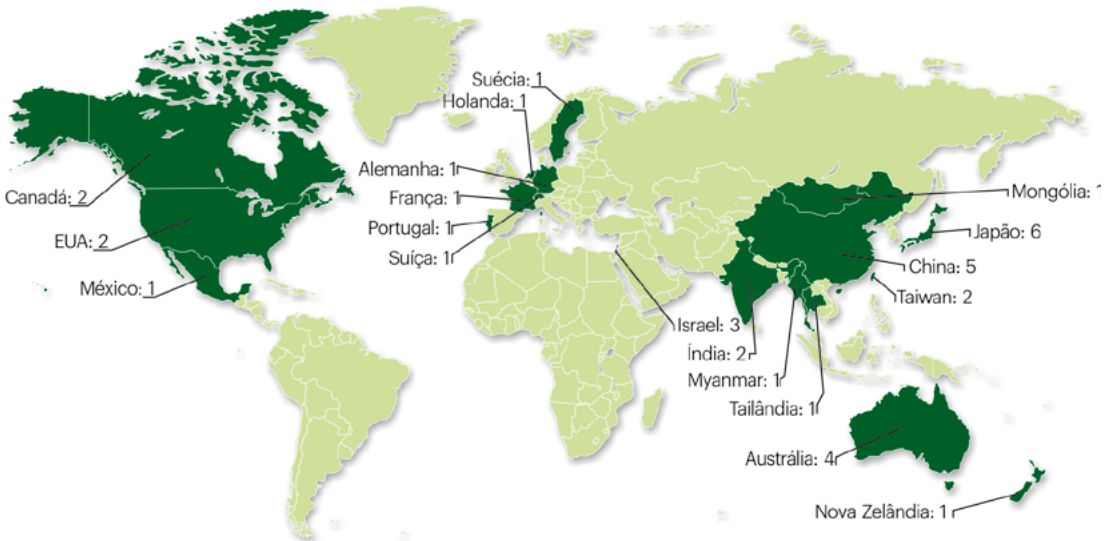


Figura 59 - Distribuição global de empresas privadas que produzem derivados de microalgas para alimentação comercial e para suplementos alimentícios.
Fonte: Adaptado de Vigani et al, 2015

Em relação à produção de microalgas para biocombustíveis, um número crescente de empresas está envolvido em testes para desenvolvimento de combustíveis para aviação à base de algas. Em julho de 2010 foi realizado o primeiro voo de uma aeronave movida por combustível produzido à base de algas. O voo foi feito em um *Diamond Aircraft* DA42 Nova Geração, avião de hélice dupla, na Exposição Internacional Aeroespacial de

Berlim. Outro exemplo da aplicação real é o acordo feito em dezembro de 2011 entre a empresa aérea Lufthansa com a Empresa Algae Tec® para avaliar o potencial das algas como matéria prima para a produção de biocombustíveis para a aviação. A Tabela 27 apresenta algumas empresas que comercializam combustíveis de algas.

Empresa	Localização	Referência
Algenol Biofuels Bonita	Springs, EUA	algenolbiofuels.com
Aquaflow Nelson,	Nova Zelândia	aquaflowgroup.com
Aurora Algae, Inc.	Hayward, EUA	aurorainc.com
Bioalgene	Seattle, EUA	bioalgene.com
Bionavitas, Inc.	Redmond, EUA	bionavitas.com
Bodega Algae, LLC	Boston, EUA	bodegaalgae.com
Joule Unlimited, Inc.	Bedford, EUA	jouleunlimited.com
LiveFuels, Inc.	San Carlos, EUA	livefuels.com
OriginOil, Inc.	Los Angeles, EUA	originoil.com
Parabel, Inc.	Melbourne, EUA	parabel.com
Phyco Biosciences	Chandler, EUA	phyco.net
Sapphire Energy, Inc.	San Diego, EUA	sapphireenergy.com
Seambiotic Ltd.	Tel Aviv, Israel	seambiotic.com
Solazyme, Inc.	South San Francisco, EUA	solazyme.com
Solix Biofuels, Inc.	Fort Collins, EUA	solixbiofuels.com

Tabela 27 - Algumas empresas Startups que comercializam combustíveis de microalgas
Fonte: Chisti e Yan (2011)

CULTIVO

Microalgas necessitam de água e nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), para se desenvolverem. Todavia, para a produção em escala comercial são necessárias grandes quantidades desses insumos. Considerando a reação de produção de biomassa apresentada por Oswald (1988), o requerimento de N e P é de, pelo menos, 9,2% e 1,3% em massa, respectivamente.

$$106CO_2 + 236H_2O + 16NH_4^+ + HPO_4^{-2} \rightarrow C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P + 118O_2 + 171H_2O + 14H^+$$

Em um cenário de atendimento a 5% da demanda mundial de óleo em 2016, que é de 95,8 milhões de barris (IEA, 2015), com uma cultura de microalgas com 40% de óleo, com 95% de recuperação do óleo após o processamento e assumindo a densidade igual ao óleo de palma, de 0,887 kg L^{-1} (CHISTI, 2013), seriam necessárias 59,5 milhões de toneladas de N para atender a essa produção. Esse valor é equivalente a 57% do que foi consumido na agricultura em todo mundo, no ano de 2010 (HEFFER, 2013). Além disso, seriam necessários 8,4 milhões de toneladas de fósforo. O consumo de água seria de

2,5 bilhões de m^3, considerando a pegada hídrica de 3700kg kg^{-1} de biodiesel produzido (CHISTI, 2013).

Esses valores mostram que o cultivo de microalgas para biocombustíveis a partir da utilização de água potável e fertilizantes comerciais é inviável, uma vez que estabeleceria uma competição com culturas alimentícias, com consequências ruins para ambas as partes. Mais do que isso, o atendimento a ambos setores não seria possível. A produção de fertilizantes consome muita energia, aproximadamente 1,2% do consumo mundial (CHISTI, 2013) e também utiliza combustíveis fósseis. Portanto, elevar a produção seria um contrassenso dentro do contexto em que as microalgas estão inseridas, que é de geração de energia renovável e sustentável. Tudo isso deixa evidente a necessidade de se utilizar fontes de água e nutrientes alternativas para o cultivo de microalgas, com implantação de ciclos de reaproveitamento.

Efluentes domésticos, agrícolas e industriais podem representar fontes de água e nutrientes para o cultivo de microalgas, constituindo importante alternativa para o suprimento de insumos para a produção. Enquanto crescem, as microalgas removem os nutrientes e depuram o efluente, que pode ser utilizado em diferentes atividades que não necessitam de água potável. Dessa forma, a exploração do potencial das microalgas para biorremediação de efluentes e a utilização da biomassa como um subproduto do tratamento representa oportunidade para superar as dificuldades mencionadas.

Em todo o mundo, cerca de 450 bilhões de m^3 de água por ano são utilizados nas atividades domésticas e industriais (FLORKE et al., 2013). Considerando um coeficiente de retorno de 0,8, isso representa a geração de 360 bilhões de m^3 de efluentes, que necessitam de tratamento por questões ambientais e de saúde pública. Diante do avanço da conscientização em relação aos aspectos ambientais, e portanto, da sustentabilidade de novos processos de produção, ressalta-se não apenas a importância da busca por tecnologias eficientes na remoção de poluentes, mas que também permitam o aproveitamento e a valorização dos nutrientes presentes em excretas humanas e outros tipos de efluentes. Esses efluentes podem ser utilizados como fonte de nutrientes de baixo custo para o cultivo de microalgas. A integração do tratamento de efluentes com a produção de biomassa algal possibilita o aproveitamento dos nutrientes e não apenas a redução de seu lançamento nos corpos receptores.

Essa prática contribui para a implantação do conceito de resíduo zero no processo de obtenção de biocombustíveis de microalgas, uma vez que reduz, ou mesmo elimina, a utilização de fertilizantes químicos (CHEN et al., 2015). Além disso, a pegada hídrica do processo também pode ser reduzida em até 90% (YANG et al., 2011), uma vez que na fase de cultivo, o consumo de água seria devido apenas às perdas por evaporação.

PRODUÇÃO

Microalgas podem ser cultivadas em diferentes tipos de sistemas, sendo as lagoas de alta taxa (LATs) e fotobiorreatores fechados tubulares e de placa plana os mais destacados na literatura (VASUMATHI et al., 2012). Os fotobiorreatores fechados superam os

reatores abertos em diversos aspectos, dentre eles citam-se: são usualmente construídos com elevada razão superfície/volume - o que maximiza a exposição da cultura à luz - permitem maior controle das condições de cultivo (controle automatizado de pH, suplemento de CO_2, mistura, dentre outros) e reduzem o risco de contaminação. No entanto, a elevada demanda energética, os custos operacionais, a possibilidade de ocorrência do biofouling, superaquecimento, estresse hidrodinâmico de culturas, dentre outras complexidades construtivo-operacionais ainda restringem sua aplicação em escala real. Soma-se a isso o fato de que as LATs se inserem perfeitamente no contexto de uma estação de tratamento de efluentes (ETE), por se tratarem de avanço tecnológico em relação a lagoas de estabilização convencionais utilizadas para o tratamento de águas residuárias.

De acordo com Benemann (2009), quase todos os produtores comerciais utilizam lagoas abertas, consideradas como a forma mais viável economicamente para se produzir biomassa algal com mínimo impacto ambiental negativo. As Figuras 60 e 61 apresentam exemplos de produção comercial em lagoas de alta taxa.

Figura 60 - Lagoas de produção de Spirulina.
Foto: www.earthrise.com

Figura 61 - Hawaii, produção de Haematococcus pluvialis (lagoas vermelhas) e Spirulina.

A produtividade de biomassa das LATs se mantém abaixo de 1 kg/m³, com valores médios de 0,2 e 0,6 kg/m³ (TREDICI, 2007; CROMAR e FALLOWFIELD, 1997).

3.7 MILHO

O milho é originário da América Central, (*Zea mays*) pertence à família Gramineae (ROCHA et al., 2017). A Figura 62 apresenta o milho e sua lavoura.

Figura 62 - Milho e sua lavoura.

Cereal básico para a nutrição humana e animal e matéria prima para a fabricação do etanol, o milho é uma gramínea que pode ser cultivada em qualquer clima, solo ou altitude e, sua produtividade varia de acordo com os fatores climáticos, fertilidade do solo e gerenciamento das colheitas (EPE, 2014). Devido aos diferentes usos, tanto na alimentação humana, animal, indústria e ainda bioenergia, o milho tem grande destaque. Somente do milho obtêm-se mais de 160 produtos diferentes para aproveitamentos distintos (EMATER, 2017).

Um dos mais importantes produtos no conjunto da agricultura brasileira, sendo o terceiro produto agrícola mais produzido, o milho fica atrás somente da cana-de-açúcar e da soja. É produzido em praticamente todas as grandes regiões, representa cerca de 40% do atual volume produzido de grãos e 28% da área plantada. O cereal é o mais forte insumo do setor de criação animal – principalmente na alimentação de aves e suínos – sobressaindo-se também na alimentação humana, sob a forma de seus derivados: fubá, farinha, óleo, amido, dentre outros. No que se refere ao destino da produção de milho no Brasil, na média dos últimos cinco anos, 59% são voltados à alimentação animal, com a avicultura representando 34%, a suinocultura 13% e a bovinocultura 7%. Já o consumo

industrial corresponde a cerca de 7,5% da produção total, as exportações, a 28% e o consumo humano, a 3%. A parcela restante é direcionada a outros setores (CONAB, 2016).

CULTIVO

O milho é um dos principais cereais cultivados no Brasil e no estado de Minas Gerais, tanto em área plantada, quanto em produção (EMATER, 2017). É cultivado em mais de 90% das propriedades rurais de Minas Gerais, com área total de 1.281.452 hectares (SIDRA, 2016).

O Brasil possui 15.846.517 ha de área plantada com milho (SIDRA, 2016). Na Tabela 28 encontram-se os valores de áreas plantadas da cultura por estado.

Brasil			15.846.517
Estado	**Área Plant. (hectares)**	**Estado**	**Área Plant. (hectares)**
Mato grosso	3.570.606	Pernambuco	194.147
Paraná	2.439.400	Rondônia	175.952
Mato Grosso do Sul	1.681.672	Sergipe	175.135
Goiás	1.409.102	Tocantins	162.078
Minas Gerais	1.281.452	Paraíba	65.286
Rio Grande do Sul	854.793	Rio Grande do Norte	42.915
Bahia	814.311	Acre	41.876
São Paulo	808.374	Alagoas	34.224
Ceará	495.927	Espirito Santo	18.642
Maranhão	456.746	Amazonas	6.604
Piauí	409.277	Roraima	5.221
Santa Catarina	404.487	Rio de Janeiro	2.440
Pará	228.871	Amapá	1.757

Tabela 28 – Estados brasileiros e respectivas áreas plantadas de milho (ha) no ano de 2015.
Fonte: SIDRA (2016)

Na Figura 63 é apresentado o percentual de área plantada nos principais estados produtores de milho do país no ano de 2015.

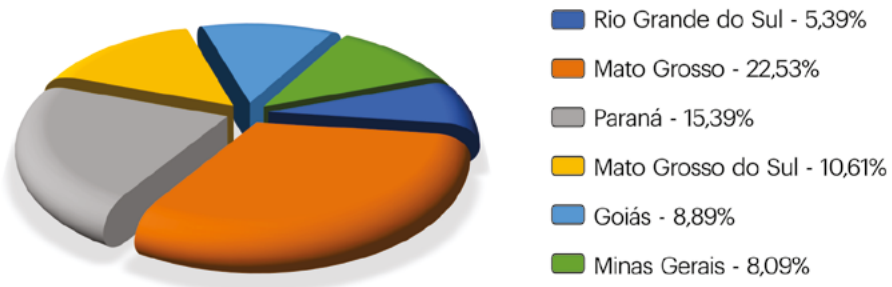


Figura 63 – Percentual de cultivo de milho nos principais estados produtores no Brasil.
Fonte: SIDRA, 2016

O Mato Grosso é o principal estado produtor de milho do país com mais de três milhões de hectares de área plantada correspondendo sozinho à cerca de 22% do total de área plantada no Brasil.

Minas Gerais ocupa a quinta posição no ranking nacional com expressiva área plantada da cultura, com destaque para o município de Uberaba com 51.000 hectares plantados, correspondendo a cerca de 4% do total do estado (TABELA 29).

Município	Área Plantada	Município	Área Plantada
Uberaba	51.000	Sacramento	24.236
Unaí	48.000	Uberlândia	23.000
Paracatu	42.400	Guarda-Mor	22.000
Buritis	35.500	Coromandel	21.000
Perdizes	28.500	Ibiá	20.000

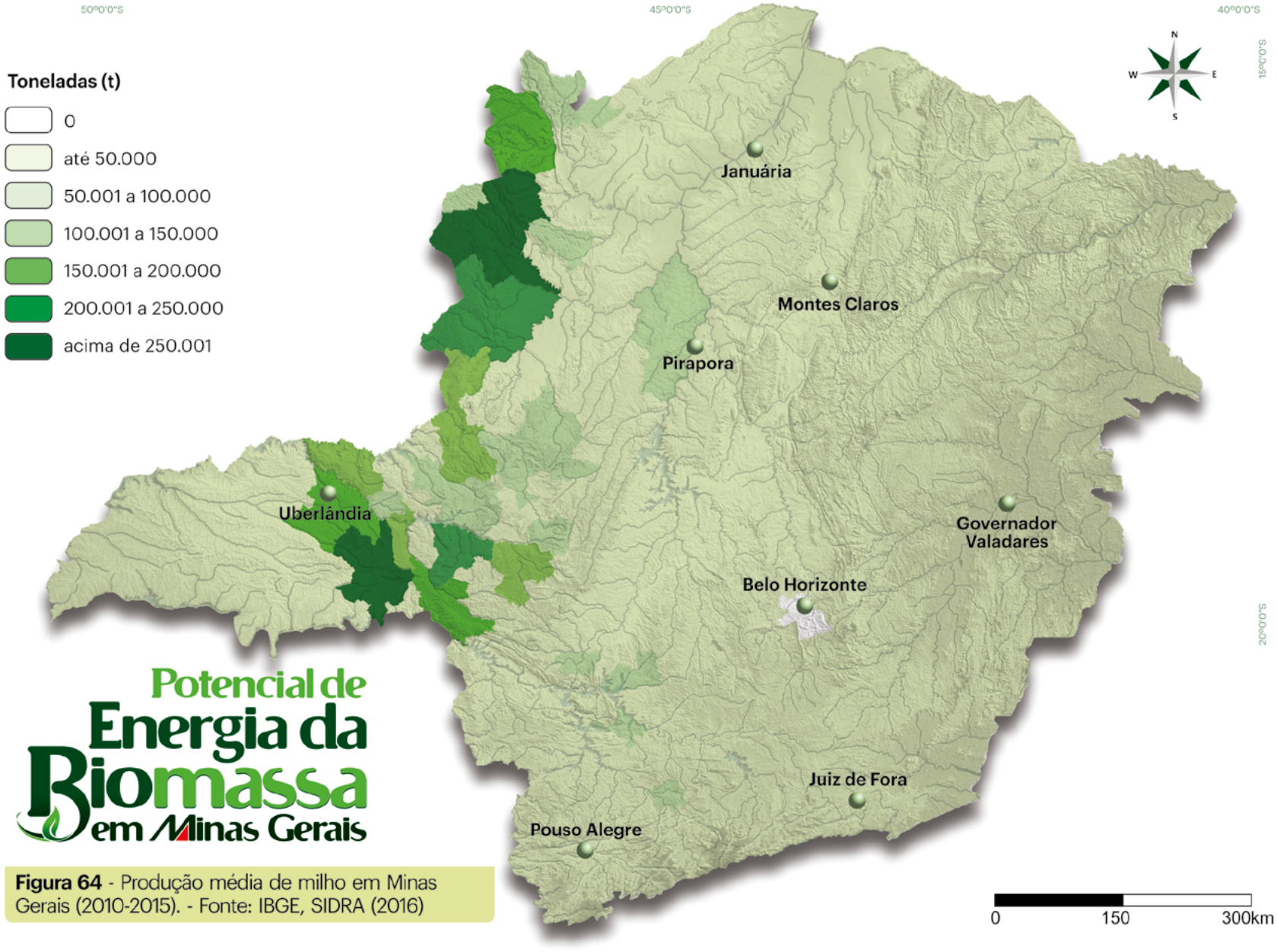
Tabela 29 – Principais municípios do estado de Minas Gerais produtores de milho e respectivas áreas plantadas (ha). - Fonte: SIDRA, 2016

PRODUÇÃO

Em nível mundial, o Brasil ocupa a terceira posição entre os países produtores de milho, ficando atrás somente dos Estados Unidos da América e da China (FAO, 2014). A produtividade do milho varia muito com relação à fertilidade de solo e à gerência das colheitas (EPE, 2014). A média de produtividade brasileira é de 2,87 t/ha (BERTRAND, 1991), com culturas espalhadas por todo o país. Oito estados concentram cerca de 89,5% da produção nacional: Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina (EPE, 2014). A produção média das colheitas é de 4,31 t/ha, sendo que esta varia entre 1,61 t/ha na região Nordeste até 5,07 t/ha na região Sudeste (EPE, 2014).

A geração de resíduos agrícolas que permanecem no campo derivados da cultura do milho pode ser dividida em sabugo e colmo, folha e palha, sendo esta última a cobertura da espiga. A palha é obtida ainda durante a colheita e na maioria dos casos não possui uma utilização definida, tornando-se um resíduo (ROCHA et al. 2017). Koopmans e Koppejan (1997) mencionam uma produção de 2,2 t de biomassa por tonelada de milho, com umidade em torno de 11%, o que equivale a 1,96 t de biomassa em base seca, por tonelada de milho.

Em Minas Gerais, para o ano de 2015, a produção de milho foi de 6.839.297 toneladas (SIDRA, 2016). A produção média de milho entre os anos 2010-2015 pode ser observada na Figura 64.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 64 - Produção média de milho em Minas Gerais (2010-2015). - Fonte: IBGE, SIDRA (2016)

3.8 PINHÃO MANSO

O pinhão manso (*Jatropha curcas L.*), também conhecido como pinhão-paraguaio, figo-do-inferno e pinhão bravo, é uma espécie de *Euphorbiaceae*, mesma família da mamona (*Ricinus sp.*), da mandioca (*Manhiot sp.*) e da seringueira (*Hevea spp.*) (LAVIOLA e DIAS, 2008). O seu nome é derivado do grego *''jatrós''* (*doctor*) e *trophé* (alimento), devido a suas aplicações medicinais. A atividade biológica e química dos constituintes da *Jatropha curcas* tem sido investigada, principalmente a *toxialbumina jatrofina* (*curcina*) (BARBIERI et al., 1993; HUANG et al., 1991; LIN et al., 2002).

O pinhão manso é um arbusto de crescimento rápido, caducifólico, que pode atingir mais de 5 m de altura. Seus frutos contêm, via de regra, três sementes, sendo uma semente por lóculo e estas apresentam teor de óleo variando entre 30 e 40% (CARNIELLI, 2003) e representam entre 53 e 79% do peso do fruto (SATURNINO et al. 2005). A Figura 65 ilustra o pinhão manso e sua semente.

Figura 65 - Pinhão Manso.

Sua rusticidade, resistência a longas estiagens, bem como às pragas e doenças, além de sua facilidade de adaptação a condições edafoclimáticas variáveis, permitem uma distribuição geográfica em quase todas as regiões intertropicais, sendo em maior escala nas regiões tropicais e temperadas e, em menor extensão nas regiões frias (NUNES, 2007).

O pinhão manso pode ser considerado uma das mais promissoras oleaginosas para substituir o diesel de petróleo devido a sua alta produtividade de óleo, seu baixo custo de produção, por ser perene, possuir elevado rendimento de sementes, além de sua ex-

trema resistência ao estresse hídrico, uma grande vantagem para o semiárido brasileiro. No entanto, é uma cultura que causa grande apreensão, pois o conhecimento técnico que se tem sobre ela é extremamente limitado. De acordo com Laviola e Dias (2008), os resultados de pesquisas com a cultura do pinhão manso são ainda incipientes e preliminares, embora seja possível notar expansão da área cultivada com essa espécie. Apesar do potencial destacado, a espécie está em fase de domesticação. Ações técnico-científicas e investimentos públicos e privado têm focado a pesquisa e o desenvolvimento para utilização desta oleaginosa em futuro próximo.

CULTIVO

Dentre as características edafoclimáticas favoráveis para a implantação de culturas de pinhão manso, destacam-se os solos férteis de textura média e não sujeito a encharcamento; temperaturas médias acima de 20ºC; índice pluviométrico entre 1.000 e 1.200 mm/ano, sendo que o excesso de água aumenta a probabilidade de doenças (LAVIOLA, 2011). Pode ser encontrado na orla marítima (nível do mar – até 1.000 m de altitude), embora seu cultivo seja mais indicado em regiões que apresentem entre 500 e 800 m de altitude. Desenvolve-se pouco em terrenos de encosta, áridos e expostos ao vento. No Brasil estas características permitem o cultivo do pinhão-manso desde o Nordeste até o Paraná (CORTESÃO, 1956; PEIXOTO, 1973).

Arruda et al. (2004) apontam que, apesar de pouco exigente em condições climáticas e solo fértil, o pinhão manso se desenvolve melhor em solos profundos, bem estruturados e pouco compactados, pois sob essas condições, o seu sistema radicular se desenvolve melhor e explora maior volume de solo, satisfazendo a necessidade da planta em nutrientes. Zanon (2012), aponta que as raízes do pinhão não se desenvolvem em solos ácidos (com pH abaixo de 4,5).

O cultivo do pinhão manso pode ser realizado por meio de sementes, na qual a planta demora dois anos para produzir a primeira colheita, ou, por via vegetativa (estacas). Por meio de estacas a primeira produção se obtém no mesmo ano, com a vantagem de que a planta não sofre variabilidade pela possiblidade de cruzamento com outras plantas (CASTELLANOS, 2006). Para assegurar bom desenvolvimento das plantas, a melhor época para o plantio é no início das primeiras chuvas. No entanto, quando se dispõe de água para irrigação, o plantio pode ser feito em qualquer época (ARRUDA et al, 2004).

Recentemente, o plantio e as pesquisas com pinhão manso vêm crescendo no México, Índia, China, Brasil e países da África (BRASILEIRO, 2010). O produto extraído da semente tem sido sugerido para fins energéticos. Suas qualidades têm sido observadas como promissoras para a produção de biodiesel mostrando que a utilização do pinhão-manso apresenta-se dentro das características exigidas pelas especificações da Petrodiesel.

PRODUÇÃO

Em alguns países, como a Índia, o cultivo de pinhão manso tem como objetivo a produção de biodiesel. Na região de Coimbatore, segundo Rosário (2006), a produção em viveiro ultrapassa trezentas mil mudas. Na Nicarágua, um projeto com o mesmo objetivo

da Índia não logrou êxito devido a vários fatores, dentre eles, o conflito de posse e uso de terra. Já no Egito, desde 2003 já foram plantados cerca de 5 mil hectares no deserto. Ainda de acordo com a autora, a Índia é um dos países com maior potencial de produção de *Jatropha* em nível mundial.

Em Minas Gerais, a produção está concentrada no Vales do Mucuri e Jequitinhonha, no Norte do Estado e Triângulo mineiro, com o objetivo de produzir mudas, sementes e desenvolver pesquisas (SATURNINO et al., 2005). Portanto, cultivos comerciais de pinhão manso não são encontrados no estado. A Tabela 30 apresenta a distribuição da produção do pinhão-manso em Minas Gerais e a Figura 66, as áreas de cultivo no estado.

Município	Área plantada (ha)	Número de plantas	Objetivo e/ou destino da produção
Arinos	-	4000	Mudas
Diamantina	-	-	Pesquisa
Janaúba	31	-	Pesquisa e mudas
Lavras	-	-	Pesquisa UFLA
Leme do Prado	0.8	-	Pesquisa e mudas
Matias Cardoso	20	-	Mudas
Nova Porteirinha	5	-	Pesquisa e mudas
Novo Cruzeiro	5	-	Mudas
Paracatu	-	-	Mudas
Santa Vitoria	9.6	9600	Pesquisa Coval
Sete Lagoas	-	2000	Sementes
Uberaba	-	-	Pesquisa Uniube
Uberlândia	-	1700	Pesquisa Ferub
Viçosa	-	-	Pesquisa

Tabela 30 - Produção de Pinhão-Manso no estado de Minas Gerais.
Fonte: Adaptado de Saturnino et al. (2005)

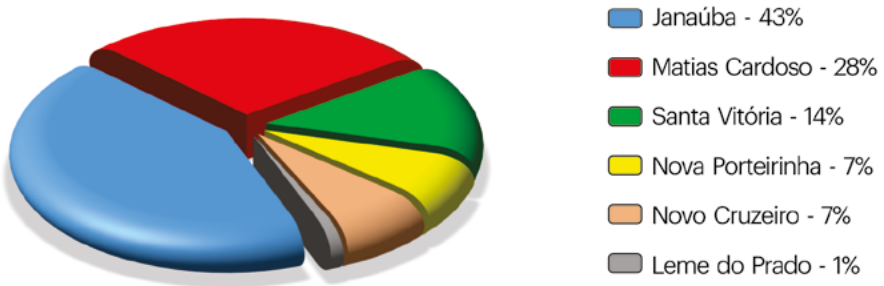


Figura 66 - Porcentagem de Pinhão-Manso plantado em alguns municípios do estado de Minas Gerais. - Fonte: Saturnino et al. (2005)

A produtividade do pinhão manso é variável, em função da região de plantio, do método de cultivo e tratos culturais, da idade da cultura, bem como da quantidade de chuva e fertilidade do solo. Carnielli (2003), acredita que o pinhão manso produza, pelo menos, 2 toneladas de óleo por hectare/ano. Purcino e Drummond (1986) observando uma área de baixada irrigada com boa fertilidade, onde havia antes um bananal, em Minas Gerais, que o pinhão começou a produzir logo no 2º ano, atingindo 2 toneladas/ha de sementes. Os autores apontam um potencial de produção do pinhão em semente, pelas produções das melhores plantas, 6.468 e 6.373 kg/ha no 1º ciclo de colheitas. Teixeira (2005) aponta uma produtividade média de pinhão manso de 5 t/ha, com a cultura estabelecida e em condições favoráveis, e cerca de 32% deste valor pode ser convertido em óleo vegetal (aproximadamente 1600 L ha^{-1}). Para Openshaw (2000) e Fernando (2006), a produtividade do pinhão manso pode variar de 0,5 até 12 toneladas ha^{-1} e pode se estender por mais de 30 anos, sendo dependente do tipo de solo, disponibilidade de nutrientes e regime de chuvas.

Como ponto favorável para o investimento na cultura, Basha et al. (2009) avaliam que o cultivo da espécie requer pouca tecnologia e baixo investimento inicial.

3.9 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Lei 12.305/10 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define resíduos sólidos como: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ainda de acordo com a Lei 12.305/10, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são classificados em resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas e resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços.

CARACTERIZAÇÃO

A produção de RSU e a característica destes é diretamente influenciada pelo tamanho da população, por seus hábitos, condições socioeconômicas, bem como as atividades exercidas por esta população. A composição média (%) dos resíduos no Brasil é ilustrada na Figura 67. A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada. É bastante variada, sendo, porém, a maior porcentagem de sua composição correspondente a resíduos orgânicos, variando de 50% a 60%. Esta composição pode variar de região para região, frente aos fatores intervenientes na sua geração, mencionados anteriormente.

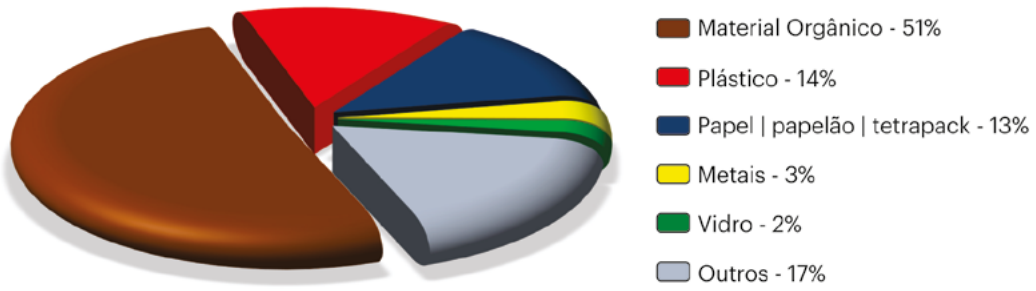


Figura 67 - Composição média dos RSU gerados no Brasil. - Fonte: ABRELPE (2013).

Com o passar dos anos, a disposição dos RSU em aterros sanitários vem aumentando. Esses aterros são considerados projetos de engenharia e a forma mais econômica de disposição ambiental segura dos RSU (ARCADIS, 2010). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, essa tipologia de disposição é considerada ambientalmente adequada para rejeitos, pois há técnicas que visam a proteção do meio ambiente, contra a percolação de chorume, evitando a contaminação do solo e do lençol freático. No entanto, em muitas localidades, os resíduos sólidos ainda são dispostos em aterros controlados e lixões.

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2016), no ano de 2015, 58,7% dos RSU no Brasil foram destinados para aterros sanitários, o que correspondeu a quase 30 milhões de toneladas de resíduos dispostas em lixões ou aterros controlados. Esse tipo de destinação ainda é uma realidade presente na maior parte dos municípios brasileiros, aproximadamente 60% destes realizam o descarte de forma incorreta, causando prejuízo ambiental, pois tais modelos não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente. Em Minas Gerais, o número de municípios que destina os RSU para lixões vem diminuindo nos últimos anos, como pode ser observado na Tabela 31.

Ano	Número de Municípios	% de Municípios
2001	823	96%
2005	564	66%
2012	267	31%
2014	258	30%

Tabela 31 – Destinação dos resíduos sólidos em lixões em Minas Gerais, de 2001 a 2014. Fonte: FEAM (2015).

A Figura 68 apresenta a destinação dos RSU em aterros sanitários, aterros controlados e lixões, de acordo com dados de 2013, para os municípios de Minas Gerais.

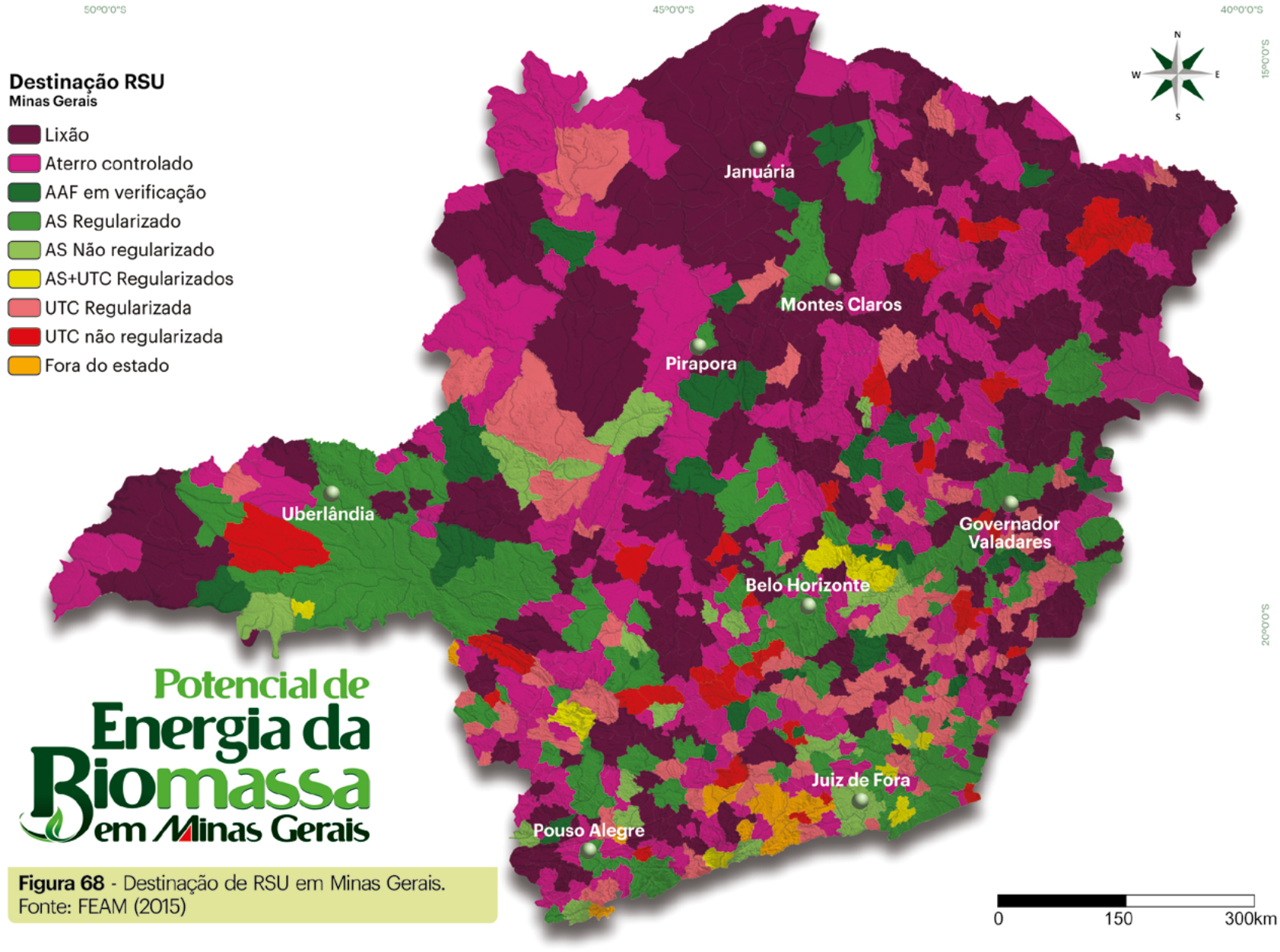


Figura 68 - Destinação de RSU em Minas Gerais.
Fonte: FEAM (2015)

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), em Minas Gerais somente 79 cidades possuem aterro sanitário como forma de disposição dos RSU gerados. Dessas 79, apenas 5 possuem aproveitamento dos gases drenados.

No Brasil são produzidos diariamente 195 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2016). Do total de resíduos gerados, cerca de 90,8% são coletados, o que equivale a aproximadamente 72,5 milhões de toneladas no ano de 2015 (ABRELPE, 2016). De acordo com ABRELPE (2016), em 2015 a região Sudeste concentrou cerca de metade dos resíduos gerados no país. As regiões Sudeste e Sul apresentam uma maior porcentagem de resíduos depositados em aterros sanitários (73 e 71%, respectivamente) em comparação com as outras regiões, enquanto a região Norte conta com o maior índice de destinação em lixões (34,3%). Na Figura 69 é apresentada a evolução da produção anual de RSU no Brasil.

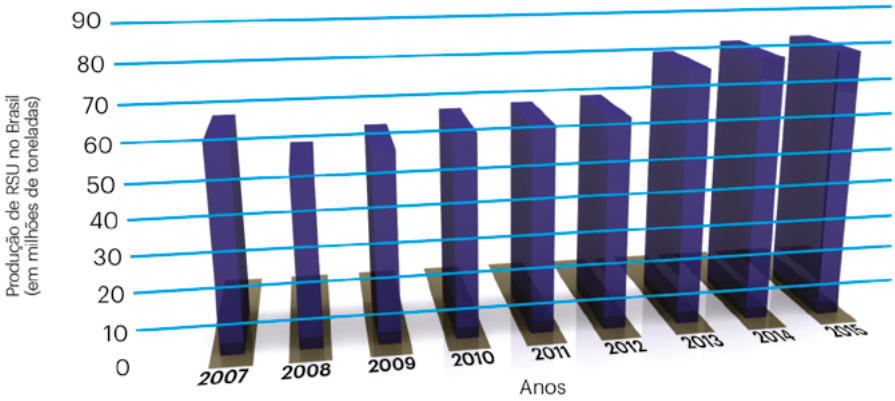


Figura 69 - Histórico da geração de RSU, em toneladas por ano, no País
Fonte: ABRELPE (2008 - 2016).

O Brasil, de acordo com dados do IBGE, possuía estimativa populacional em torno de 204 milhões de habitantes em 2015, e o estado de Minas Gerais, uma estimativa de, aproximadamente, 21 milhões de habitantes. Em 2015 foi registrada uma geração de aproximadamente 79,9 milhões de toneladas no país, configurando um crescimento a um índice inferior ao registrado em ano anterior. Para o ano de 2014 em relação a 2013, por exemplo, esse aumento na geração de RSU foi de 2,9%. A geração per capita diária em massa de RSU em 2015 foi de 218,87 ton/dia, 1,7% superior a 2014 (ABRELPE, 2016). Esse aumento na geração de resíduos foi superior ao crescimento da população de 0,8%. Uma das possíveis causas para tal aumento pode ser a elevação da renda per capita, gerando assim uma maior propensão marginal a consumir e assim, uma maior produção de resíduos (NEVES e CROCOMO, 2005). Na Tabela 32 é apresentada a produção de RSU no Brasil para cada estado e região, no ano de 2014.

Regiões	Estados e Distrito Federal	População 2015	RSU Gerado (ton/dia)	RSU Coletado (kg/hab/dia)	RSU Coletado (ton/dia)
Norte	Acre	803.513	613	0,636	511
	Amapá	766.679	681	0,805	617
	Amazonas	3.938.336	4.264	0,944	3.716
	Pará	8.175.113	7.067	0,657	5.375
	Rondônia	1.768.204	1.461	0,633	1.120
	Roraima	505.665	408	0,674	341
	Tocantins	1.515.126	1.251	0,668	1.012
Nordeste	Alagoas	3.340.932	3.149	0,760	2.538
	Bahia	15.203.934	14.921	0,795	12.083
	Ceará	8.904.459	9.809	0,862	7.678
	Maranhão	6.904.241	7.296	0,629	4.340
	Paraíba	3.972.202	3.551	0,766	3.042
	Pernambuco	9.345.173	8.986	0,829	7.745
	Piauí	3.204.082	3.262	0,665	2.132
	Rio Grande do Norte	3.442.175	3.049	0,783	2.695
	Sergipe	2.242.937	1.839	0,732	1.641
Centro-oeste	Distrito Federal	2.914.830	4.653	1,565	4.561
	Goiás	6.610.681	6.790	0,975	6.447
	Mato Grosso	3.265.486	3.221	0,857	2.797
	Mato Grosso do Sul	2.651.235	2.642	0,910	2.412
Sudeste	Espírito Santo	3.929.911	3.363	0,789	3.101
	Minas Gerais	**20.869.101**	**19.214**	**0,838**	**17.479**
	Rio de Janeiro	16.550.024	22.213	1,323	21.895
	São Paulo	44.369.484	62.585	1,400	62.156
Sul	Paraná	11.163.018	8.858	0,748	8.345
	Rio Grande do Sul	11.247.972	8.738	0,731	8.224
	Santa Catarina	6.819.190	4.990	0,696	4.747

Figura 32 - Produção de RSU nos Estados e no Distrito Federal, com destaque para Minas Gerais. - Fonte: ABRELPE (2016).

Nas cidades brasileiras a quantidade média de geração de resíduos domiciliares por pessoa pode variar de acordo com os fatores que influenciam suas características. No entanto, pode-se avaliar a geração média de resíduos sólidos urbanos de acordo com o tamanho da cidade, como verifica-se na Tabela 33. A geração per capita relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região.

Tamanho da cidade	População urbana (hab.)	Geração per capita (kg/hab. dia)
Pequena	Até 30 mil	0,5
Média	30 mil a 500 mil	0,50 a 0,80
Grande	500 mil a 5 milhões	0,80 a 1,00
Megalópole	> 5 milhões	>1,00

Tabela 33 - Geração média per capita de RSU no Brasil. - Fonte: Monteiro et al. (2001)

A Figura 70 apresenta o histórico da produção de RSU no estado de Minas Gerais.

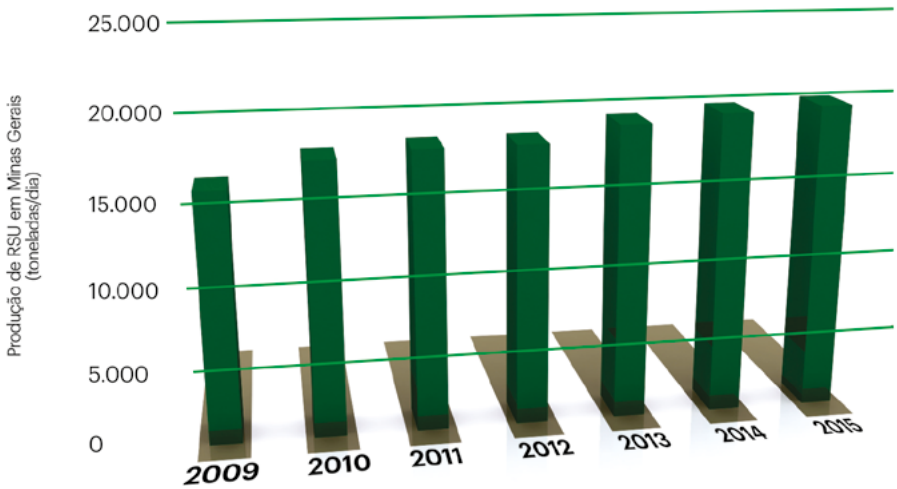


Figura 70 - Histórico da produção de RSU em Minas Gerais. - Fonte: ABRELPE (2010-2016).

3.10 RESÍDUOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O Ministério do Meio Ambiente, por meio da resolução CONAMA nº 375 de 2006, define o lodo como o resíduo líquido ou sólido oriundo do tratamento de esgotos cuja composição predominantemente orgânica varia em função de sua origem. Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. É essa fração de 0,1% que vem a formar após o tratamento do esgoto, o lodo. Ainda que o lodo possa, na maior parte das etapas do seu manuseio, ser constituído de mais de 95% de água, por convenção é designado como resíduo sólido (von SPERLING, 2005).

No Brasil, de acordo com dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), até o ano de 2014, 55% do esgoto produzido foi coletado, e desse volume, 71% recebeu algum tipo de tratamento. Na Tabela 34 são apresentados os percentuais de esgoto coletado e tratado em cada uma das regiões do país. A Figura 71 mostra o índice por estados. O percentual de tratamento é relativo ao total de esgoto coletado.

Região	% esgoto coletado	% esgoto tratado
Norte	16,1	78,2
Nordeste	35,7	78,5
Centro-oeste	50,7	91,1
Sul	42,7	84,1
Sudeste	67,0	65,4
Total	**54,9**	**70,9**

Tabela 34 - Percentual de esgoto coletado e tratado por regiões no Brasil.
Fonte: SNIS (2016)

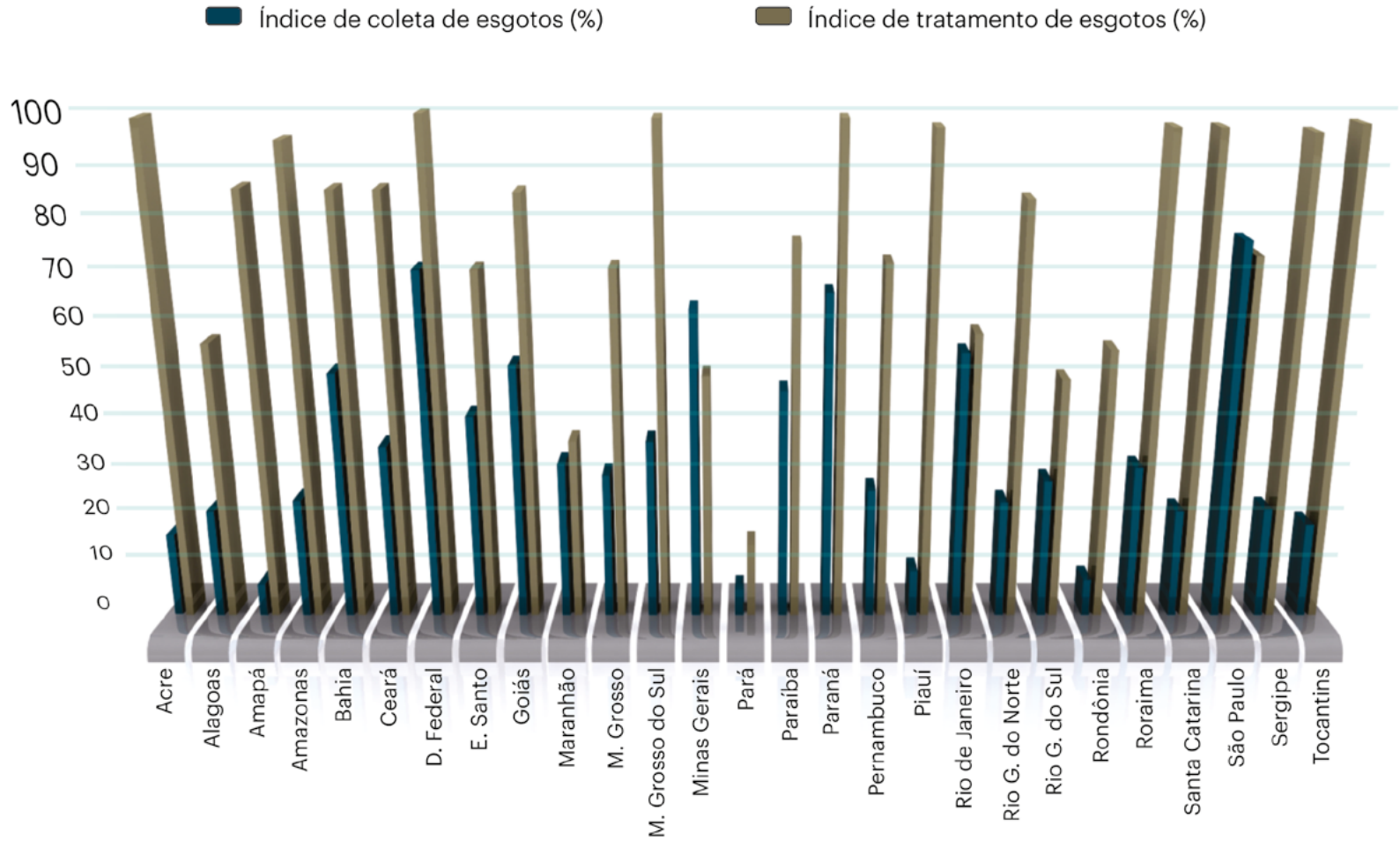


Figura 71 - Índice de coleta e tratamento de esgoto no Brasil. - Fonte: SNIS (2016)

O gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade complexa, que se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (LUDUVICE, 2001). Além disso, as dificuldades no gerenciamento do lodo em ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), que representam uma porcentagem reduzida do volume total de esgoto tratado, também se relacionam aos custos operacionais, que podem chegar a 50% do total (SPINOSA et al., 2011). No Brasil, a principal alternativa para o destino do lodo é o aterro sanitário, o que resulta em elevados gastos com transporte e desperdício do seu potencial energético (ROSA et al., 2014).

CARACTERIZAÇÃO

De acordo com von Sperling (2005), de maneira geral, os subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgoto são os seguintes: material gradeado, areia, escuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico (caso haja etapa físico-química). Os lodos primário e secundário são os mais importantes em termos de quantidade de geração, constituindo grande parte dos resíduos de uma ETE para tratamento e disposição final. Esses lodos são compostos de sólidos sedimentáveis (lodo primário) e de biomassa microbiana, constituída de matéria orgânica absorvida e convertida (lodo secundário ou biológico). A produção de lodo é função precípua do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento biológico, tipo mais utilizado, geram lodo. A Tabela 35 apresenta as características e quantidade do lodo produzido em vários sistemas de tratamento de esgotos.

Sistema	kgSS/kgDQO aplicada	Teor de sólidos secos (%)	Massa de lodo (gSS/hab.dia)	Volume de lodo (L/hab.dia)
Tratamento primário (convencional)	0,35-0,45	2-6	35-45	0,6-2,2
Lagoa facultativa	0,12-0,32	5-15	12-32	0,1-0,25
Lagoa aerada facultativa	0,08-0,13	6-10	8-13	0,08-0,22
Lodos ativados convencional	0,60-0,80	1-2	60-80	3,1-8,2
Reator UASB*	0,12-0,18	3-6	12-18	0,2-0,6
UASB*+pós-tratamento aeróbio	0,2-0,32	3-4	20-32	0,5-1,1

* Reator anaeróbio de manta de lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*); SS = sólidos secos; DQO = demanda química de oxigênio; hab= habitantes. Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001).

Tabela 35 - Características e quantidade de lodo produzidos em vários sistemas de tratamentos de esgotos. - Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001)

Como mencionado anteriormente, em um sistema de tratamento podem ser encontrados lodos primários e secundários, sendo os últimos também denominados como biológicos. O primeiro possui em sua constituição basicamente sólidos sedimentáveis presentes no efluente. O segundo, em contrapartida, possui teor mais elevado de matéria orgânica. É nesta etapa do tratamento da fase liquida dos esgotos que ocorre a remoção dessa matéria orgânica por microrganismos. Os lodos oriundos do tratamento biológico podem por sua vez serem subdivididos em aeróbios e anaeróbios, de acordo com o tratamento empregado.

O tratamento de esgotos por processos biológicos resulta em dois tipos de resíduos: o efluente líquido pronto para ser devolvido ao meio ambiente e o lodo secundário, que é um material pastoso com grande concentração de microrganismos, sólidos orgânicos e minerais. Apesar do lodo biológico ser o resíduo produzido em maior quantidade em uma ETE, outros tipos de sólidos são retidos em diferentes operações nas estações de tratamento de esgotos (PEDROZA et al., 2010), conforme é apresentado na Tabela 36.

Subproduto sólido gerado	Origem do resíduo na ETE;
Sólidos Grosseiros	Grade;
Areia	Desarenador;
Escuma	Desarenador, decantador primário, decantador secundário, reator anaeróbio e lagoa de estabilização;
Lodo Primário	Tanque séptico e decantador primário;
Lodo Biológico Aeróbio (Não Estabilizado)	Lodos ativados convencional e reatores aeróbios com biofilme (Alta carga);
Lodo Biológico Aeróbio (Estabilizado)	Lodos ativados – aeração prolongada e reatores aeróbios com Biofilme (baixa carga);
Lodo Biológico Anaeróbio (Estabilizado)	Lagoas de estabilização, reatores UASB e filtros anaeróbios;
Lodo Químico	Decantador primário com precipitação química e lodos ativados com precipitação de fósforo.

Tabela 36 - Origem dos principais subprodutos gerados no tratamento de esgoto.
Fonte: Andreoli et al. (2001); Metcalf e Eddy, 2002

Na Tabela 37 são apresentados os períodos de remoção empregados em diferentes sistemas de tratamento de esgotos.

Sistema	Intervalo de remoção do lodo	
	Lodo primário	Lodo secundário
Tratamento primário (convencional)	Horas	-
Lagoas (em geral)	-	Anos
Reator UASB	-	Semanas
Reator UASB + pós tratamento	-	Semanas
Lodos ativados convencional	Horas	Aprox. contínuo
Aeração prolongada	-	Aprox. contínuo
Filtro biológico de baixa carga	Horas	Horas
Filtro biológico de alta carga	Horas	Horas

Tabela 37 - Intervalo de remoção do lodo em diferentes sistemas de tratamentos.
Fonte: Adaptatado de Andreoli et al. (2007)

A produção de lodo depende, em cada tipo de tratamento de esgoto, do tempo de descarte do mesmo, que varia conforme o tratamento e influencia no volume final gerado. De acordo com von Sperling (2005), o período de armazenamento tem grande influência nas características do lodo e, por conseguinte, na forma de tratamento. Lodos retirados em intervalos de semanas, meses ou anos usualmente são já digeridos e também mais adensados, o que vai interferir diretamente nos processos de obtenção de energia.

PRODUÇÃO

A produção de esgoto doméstico no Brasil situa-se entre 80 a 200 litros/hab.dia sendo que, cada habitante produz cerca de 150 g/dia de lodo centrifugado (ALEM SOBRINHO, 2001). Pedroza et.al (2010) estimam que a produção de lodo no Brasil está entre 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. O tratamento da fase sólida de uma ETE aeróbia representa, aproximadamente, 50% dos custos de operação, no tratamento de efluentes (KHIARI et al., 2004).

A utilização do lodo de ETE para geração de energia pode contribuir para a redução desses custos, sobretudo a partir do aproveitamento dessa energia no próprio processo de tratamento. Benefícios indiretos também devem ser considerados na avaliação da viabilidade técnica e econômica do processo. O aproveitamento energético do lodo reduz o volume de material disposto nos aterros sanitários, o que representa elevação na perspectiva de vida útil do aterro. Considerando-se isoladamente o processo de geração de energia e o investimento para a implantação da infraestrutura necessária, salienta-se que a matéria prima a ser utilizada trata-se de um resíduo de um processo anterior, nesse caso, o tratamento do esgoto, não possuindo, portanto, custos adicionais.

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) já conta com uma termelétrica de cogeração de energia em fase pré-operacional funcionando na Estação de

Tratamento de Esgoto Arrudas. Ela ocupa 63,84 hectares e opera, inicialmente, para 1 milhão de habitantes. O lodo e a escuma provenientes das elevatórias de lodo e escuma primários são encaminhados para unidades de digestão anaeróbia, onde ocorrem a estabilização da matéria orgânica e a redução dos sólidos voláteis. Parte da matéria orgânica é convertida em gás pela fermentação anaeróbia e transformação dos ácidos orgânicos. O lodo digerido é encaminhado a um tanque aberto, denominado digestor secundário, onde ocorre a separação lodo/líquido. O biogás gerado será aproveitado através do sistema de co-geração de energia elétrica, que é composto de basicamente de armazenamento do biogás, tratamento e condução do gás tratado para três conjuntos de quatro microturbinas de 200 kW cada, perfazendo uma instalação total de 2,4 MW de potência instalada. A energia elétrica gerada nessa pequena central termelétrica será utilizada integralmente na própria planta, devendo gerar uma potência firme capaz de suprir cerca de 90% da necessidade da estação. O calor dos gases de exaustão das microturbinas será conduzido para trocadores de calor gás – água e água – lodo, de modo a aquecer o lodo proveniente dos biodigestores, num circuito fechado, aumentando a temperatura média no interior dos mesmos, otimizando a digestão e aumentando a produção do biogás que alimenta as microturbinas (FIGURA 72) (COPASA, 2012). Em 2012 a produção era de cerca de 800 kg/h e a previsão é de, quando as turbinas estiverem funcionando plenamente, a economia no consumo de energia elétrica da planta chegará a 90% e as contas da empresa terão uma redução de R$ 2,7 milhões por ano (IBAHIA, 2012).

Figura 72 - Sistema de cogeração de energia da COPASA na ETE Arrudas.

Um dos países que mais utiliza a tecnologia é a Alemanha, onde cerca de 800 estações possuem digestão anaeróbia de lodo e geração de eletricidade a partir do biogás, totalizando em 2008 uma geração de pouco mais de 1 TWh. Nos Estados Unidos, 104 estações com 190 MW de capacidade instalada utilizam biogás oriundo dos digestores de lodo como fonte primária de combustível. Na cidade de Didcot, no Reino Unido, uma estação especial de tratamento transforma dejetos humanos lançados pela descarga em energia oriunda do gás metano para consumo doméstico (IBAHIA, 2012).

3.11 SOJA

A soja (*Glycine max L*) é um grão rico em proteínas e pertence à família *Fabaceae* (leguminosas), assim como feijão, lentilha e ervilha. É a cultura agrícola que apresentou maior crescimento nas últimas três décadas, com 49% da área plantada do país, de acordo com o Ministério da Agricultura (2016). A época de semeadura é um dos fatores que mais influenciam o rendimento da soja. A temperatura média do solo, adequada para sua semeadura, vai de 20ºC a 30ºC, sendo 25ºC a ideal para uma emergência rápida e uniforme. De modo geral, o período preferencial para a semeadura vai de 20 de outubro e 10 de dezembro (EMBRAPA, 2015). O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos e ao manejo e eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais, e além disso, vem apresentando uso crescente na alimentação humana, o que faz com que sua produção esteja em franco crescimento (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016). Apesar da soja ser chamada de oleaginosa, seu principal produto derivado é o farelo proteico, que representa entre 75% e 80% do grão e é utilizado largamente na nutrição animal (HIRAKURI et al., 2010). De uma saca de soja (60kg), tem-se 8 litros de óleo e 52 kg de farelo, com aproximadamente 46% de proteína na matéria seca.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial do grão, com uma produtividade de 2.998 kg/ha (CONAB, 2016). Como mencionado, o óleo é um subproduto ou coproduto (CEMIG, 2012). Portanto, não se produz soja para obter o óleo. A sua hegemonia advém uma cadeia produtiva bem estruturada, com tecnologias de produção bem definidas e modernas, além de ampla rede de pesquisa (DALL'AGNOL, 2007).

CULTIVO

Minas Gerais possui importante participação na produção agrícola nacional. A Tabela 38 apresenta as principais culturas produzidas no Estado no ano de 2014 e suas respectivas áreas plantadas e colhidas e quantidade produzida.

Cultura	Área Plantada (ha)	Área Colhida (ha)	Quantidade Produzida (t)
Algodão Herbáceo (em caroço)	1.047.622	1.046.801	4.066.791
Arroz (em casca)	2.162.178	2.138.397	12.301.201
Cana-de-açúcar	10.161.622	10.093.171	748.636.167
Milho (em grão)	15.846.517	15.406.010	85.284.656
Soja (em grão)	32.206.387	32.181.143	97.464.936
Café	1.988.272*	1.979.714	2.645.494

* Área destinada à colheita.

Tabela 38 - Principais culturas produzidas em Minas Gerais em 2015, com destaque para a Soja. - Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática, (SIDRA, 2016)

O Brasil possui 33.245.190 ha de área plantada com soja (SIDRA, 2016). Na Figura 73 é apresentado o percentual dessa área plantada nos principais estados produtores de soja do país.

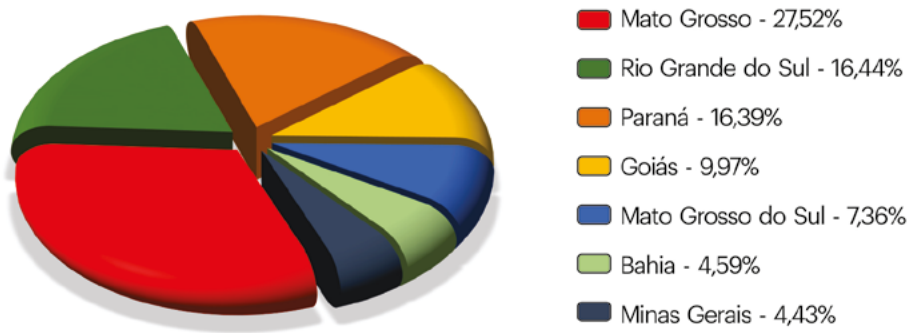


Figura 73 – Percentual de cultivo de Soja nos estados cuja área plantada foi maior que 1.000.000 (há). - Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática, (SIDRA, 2016)

A área cultivada de soja no estado de Minas Gerais sofreu considerável aumento nos últimos anos. Essa expansão ocorreu sobretudo nas áreas de pastagens e em locais onde anteriormente eram cultivados milho e café com pouca produtividade (CISoja, 2016). Diante disso, o estado é destaque na Região Sudeste, sendo responsável por 4,43% do cultivo de soja no Brasil, o que corresponde a 1.472.224 ha de área plantada (SIDRA, 2016). Uberaba, Uberlândia, Unaí, Buritis e Guarda-Mor são os municípios com maior área (acima de 50.000 ha) de cultivo de soja em Minas Gerais.

PRODUÇÃO

O Brasil é o segundo país na produção e processamento mundial de soja, sendo também o segundo maior exportador de grão, óleo e farelo de soja. Estima-se que a cadeia produtiva da soja reúna no País mais de 243 mil produtores, e um mercado de 1,4 milhões de empregos. Atualmente, 70% da produção de grão, óleo e farelo de soja são exportados (APROSOJA BRASIL, 2014). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016) a indústria nacional produz cerca de 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, contribuindo para a competitividade nacional na produção de carnes, ovos e leite. A soja contribui para colocar Minas Gerais em posição de destaque no ranking das exportações agrícolas. O estado ocupava o quinto lugar, com vendas externas que chegaram a US$ 686,58 milhões de dólares em julho de 2016, com o complexo da soja ocupando o segundo lugar, com US$ 134,95 milhões, atrás apenas do café com exportações no valor de US$ 261,74 milhões (MAPA, 2016). Do montante relativo à soja, US$ 124,87 milhões são relacionados à venda de grãos, US$ 10 milhões ao farelo de soja e US$ 72 mil ao óleo de soja (MAPA, 2016).

Entre os estados brasileiros, verifica-se que o maior produtor é Mato Grosso, seguido pelo Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. Em Minas Gerais o município com a maior produção é Unaí, seguido de Paracatu, Uberaba, Buritis, Guarda-Mor e Coromandel.

Segundo IBGE (2015) o rendimento médio da produção de soja no Brasil, em 2015, foi de 3029 kg/ha, e em Minas Gerais de 2654 kg/ha. O produto principal do cultivo de soja é o farelo, advindo da casca, rico em proteínas. O aproveitamento energético pode ser realizado a partir da palha (resíduos provenientes do processo de colheita: folhas, caule, talos e cascas) ou então da extração do óleo. A Figura 74 apresenta o destino e os usos da soja brasileira.

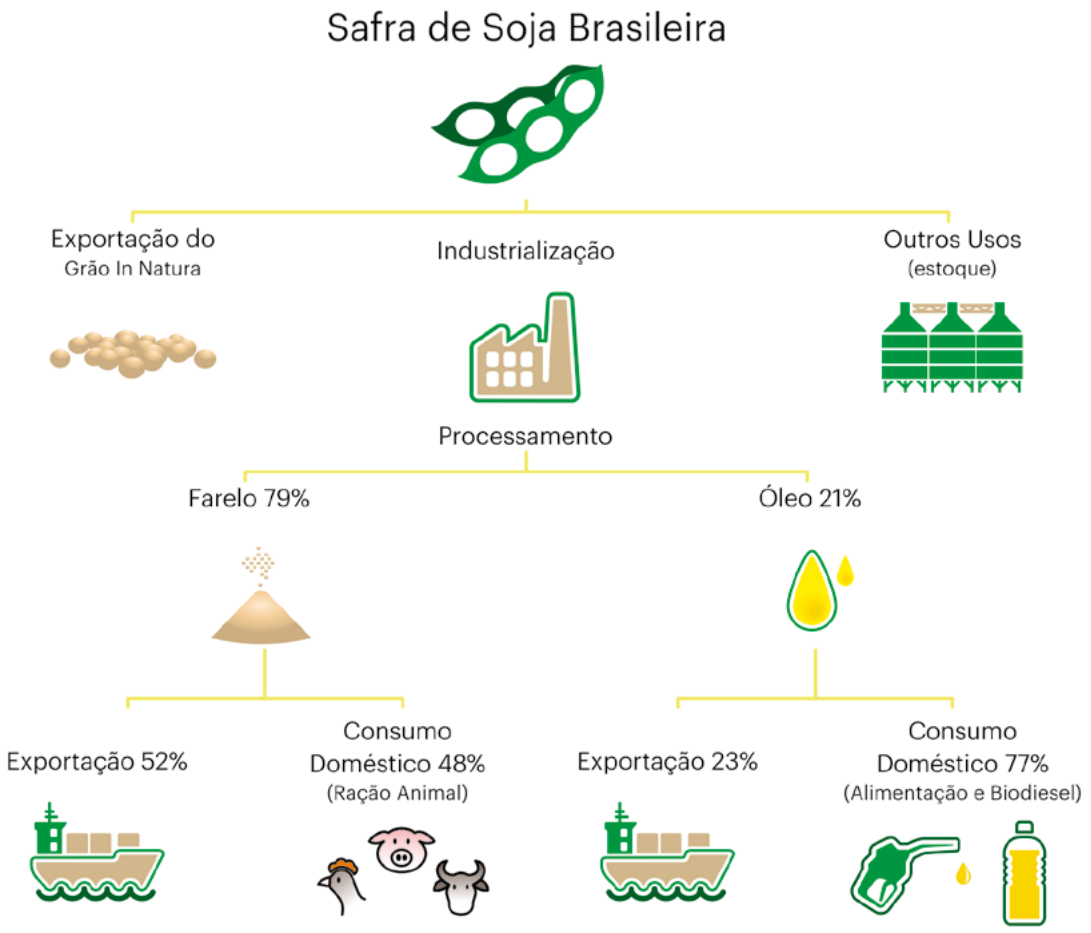


Figura 74 – Uso e destino da Soja brasileira. - Fonte: Adaptado de Aprosoja Brasil (2014).

Como podemos observar na Figura 73, o farelo da soja corresponde a 79% da produção, sendo que uma parte é exportada e outra é consumida, basicamente, para ração animal. A produção média da soja por município em Minas Gerais (2010-2015) é apresentada na Figura 75.

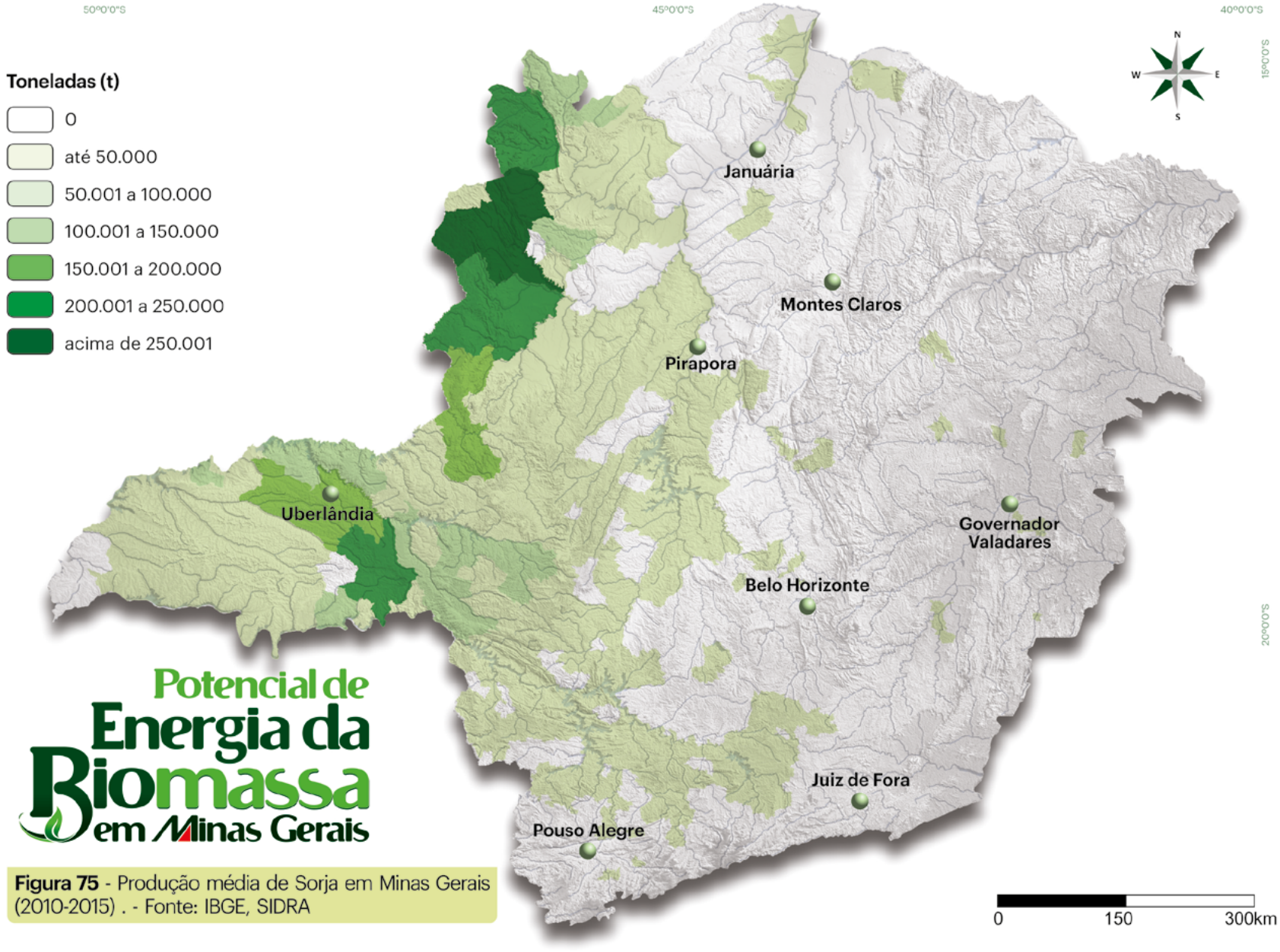


Figura 75 - Produção média de Sorja em Minas Gerais (2010-2015) . - Fonte: IBGE, SIDRA

3.12 VEGETAIS LENHOSOS

A madeira é um material amplamente utilizado e a sua aplicação vai desde a cocção de alimentos em fogão à lenha até usos mais nobres em serraria, produção de celulose, produção de carvão em substituição aos combustíveis fósseis, dentro outros. A Figura 76 apresenta a cadeia produtiva da madeira, que pode ser dividida em três grandes grupos segundo sua destinação.

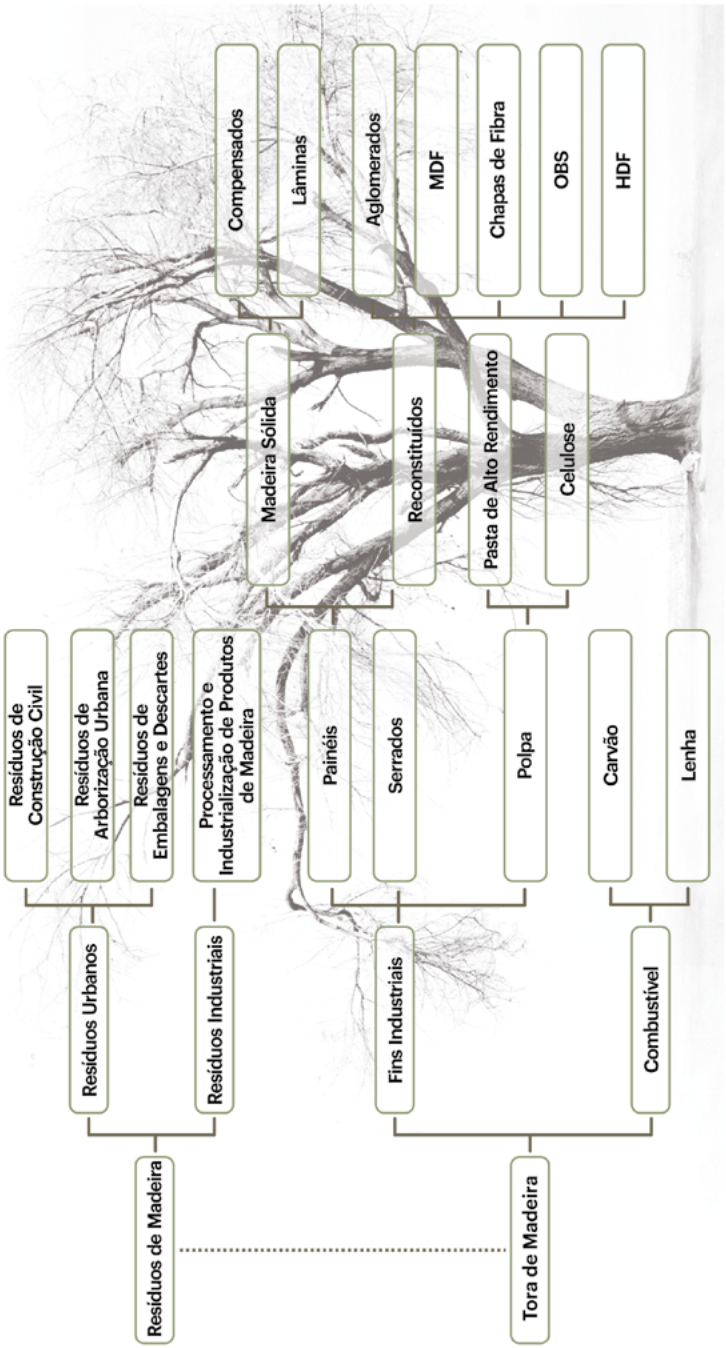


Figura 76 - Cadeia Produtiva da Madeira. - Fonte: Wiecheteck, 2009 (Adaptado).

Na área energética, a madeira, como combustível, é tradicionalmente chamada de lenha e, nessa forma, continuamente ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade (BRITO, 2007), e atualmente vem ganhando espaço, novamente, principalmente no que tange a mitigação dos gases de efeito estufa.

A madeira é uma fonte de energia primária e renovável, que além da energia disponível, atua como importante fator de fixação do carbono atmosférico contribuindo, dessa forma, com a redução do efeito estufa. Devido a sua variabilidade e gama de espécies adaptadas a diferentes condições ambientais, a madeira apresenta-se com um material de extraordinário valor ambiental, social e econômico. A madeira é sem dúvida o mais antigo combustível usado pelo homem.

A biomassa lenhosa pode ser convertida em combustível, sob a forma sólida, líquida ou gasosa, em processos que variam de simples fornos ou até sofisticadas unidades industriais. Estes processos podem ser classificados em: carbonização ou pirólise, combustão, gaseificação e hidrólise ácida ou enzimática. A combustão ou queima direta é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha, porém, a gaseificação e a pirólise são processos termoquímicos que têm recebido especial atenção nos últimos anos. Logo, as novas tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado, têm ganhado importância mundial (CENBIO, 2015).

Cabe, também, relatar que a geração de resíduos de madeira na atividade industrial Brasileira é alta, porém seu baixo aproveitamento ainda é incipente, podendo a vir resultar em danos ambientais, já que apenas uma parcela do volume de resíduos gera aproveitamento econômico. Os resíduos são processados como matéria prima para diversos fins, incluindo o uso energético, contribuindo positivamente na substituição de 14-27 milhões de tep.ano^{-1} (KARJALAINEN et al., 2004, apud WIECHETECK, 2009). Na Figura 77 são apresentadas as principais formas de utilização dos resíduos provenientes das atividades florestais.

Figura 77 - Destino do Resíduo de Madeira. - Fonte: Wiecheteck, 2009 (Adaptado).

EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus* pertence à família *Mirtaceae* e conta com cerca de 600 espécies e grande número de variedades e híbridos (TRUGILHO et al., 1996). Esse gênero foi introduzido no Brasil no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, com a finalidade de ornamentação. Porém, foi somente no inicio do século XX, que foi plantado com o objetivo comercial (PEREIRA et al., 2000).

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* é o mais estudado e implantado comercialmente, sendo que no ano de 2015 o total de áreas plantadas foi de 5,6 milhões de hectares. Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto no Brasil foi de 2,8% a.a. Minas Gerais aparece como o principal estado produtor de eucalipto, com 24% da área plantada no país, e o Mato Grosso do Sul se destaca com o plantio de 450 mil hectares nos últimos cinco anos (IBÁ, 2016).

Ressalta-se que a área plantada desse gênero continua em processo de expansão, todavia, em um ritmo menos acelerado devido a crise econômica brasileira. Porém, salienta-se que seu rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies e clones, adaptabilidade e diversificação quanto aos usos da madeira são os principais fatores que contribuem para a expansão contínua da área plantada deste gênero.

De acordo com a literatura, as espécies de eucalipto mais utilizadas em pesquisas, e consequentemente nos plantios, para fins energéticos, são: *Eucalyptus grandis*

(FREDERICO, 2009), *Eucalyptus urophylla* (ANDRADE, 2009), *Eucalyptus camaldulensis* (PINHEIRO et al., 2005), *Eucalyptus cloeziana* (PINHEIRO et al., 2005); *Eucalyptus pellita* (OLIVEIRA et al., 2010); *Eucalyptus saligna* (TRUGILHO et al., 2001); híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (TRUGILHO et al., 2005; CAMPOS, 2008; FREDERICO, 2009; ARANTES, 2009, SANTOS, 2010), híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (TRUGILHO et al., 2005; SANTOS, 2010; ROCHA, 2011).

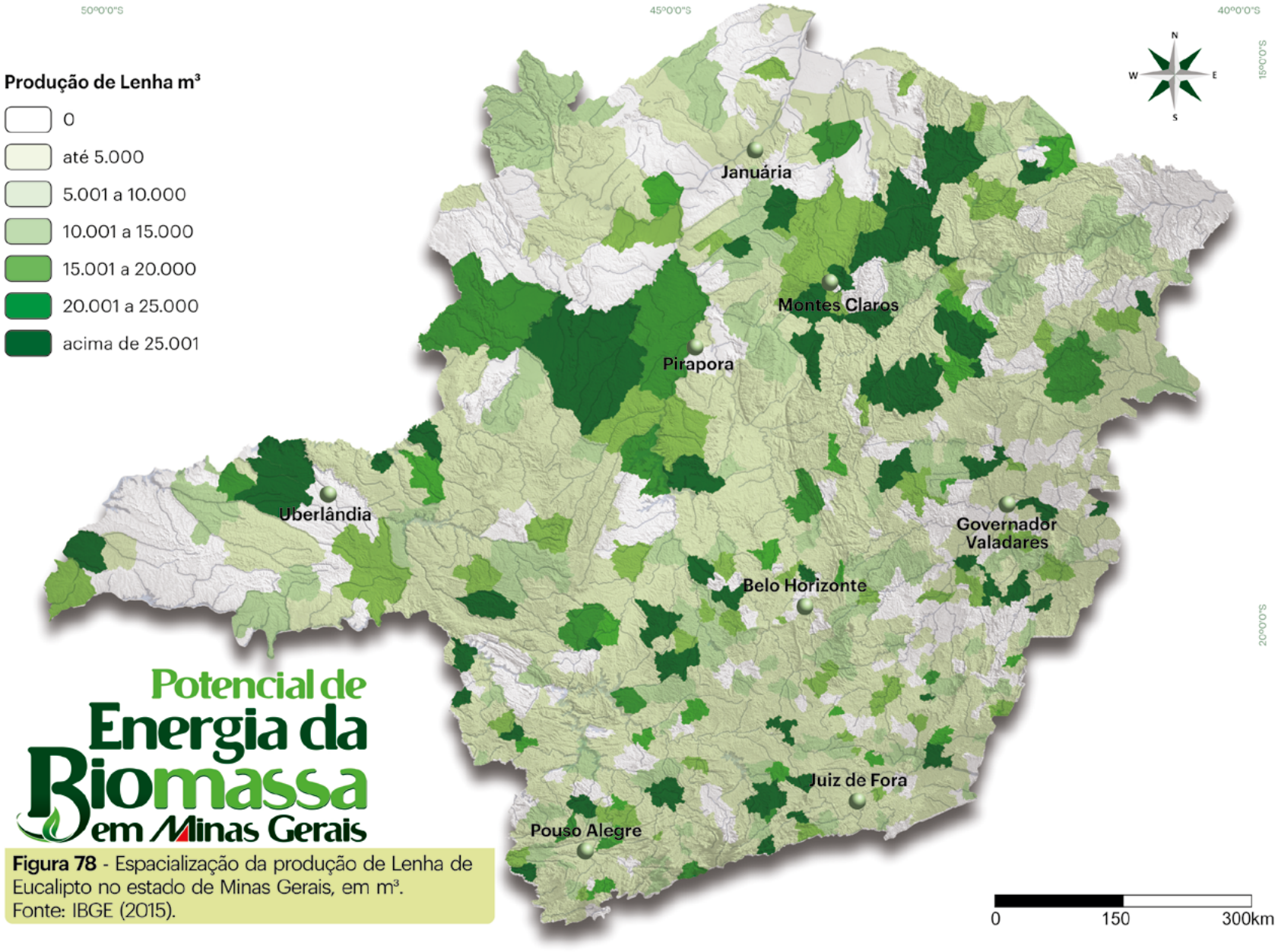
O eucalipto possui uma ampla plasticidade e dispersão mundial, pois cresce satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, passando desde áreas pantanosas até muito secas, de solos arenosos, de baixa à de alta fertilidade, ocupando, portanto, ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto temperaturas (SANTOS et al., 2001; SCHUMACHER et al., 2005; HASSE, 2006).

A cobertura florestal do território brasileiro, associada às excelentes condições edafoclimáticas para a silvicultura, confere ao país grandes vantagens para a atividade florestal, comparado ao resto do mundo, tendo como consequência, uma boa participação no contexto da geração de energia oriunda de fontes renováveis. Vale mencionar que a produtividade das florestas de eucalipto e Pinus no Brasil é superior àquelas observadas nos demais países com tradição na exploração florestal conforme pode ser observado na Tabela 39.

A Figura 78 é apresenta a produção média de madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais entre os anos de 2013 a 2015.

Espécies	País	Idade (Anos)	Produtividade m³/ha/ano
Folhosas			
Eucalyptus spp.	Brasil	7	35 – 55
Eucalyptus spp.	África do Sul	8 – 10	20
Eucalyptus spp.	Chile	10 – 12	30
Eucalyptus spp.	Portugal	12 – 15	12
Eucalyptus spp.	Espanha	12 – 15	10
Bétula	Suécia	35 – 40	5,5
Bétula	Finlândia	35 – 40	4
Coníferas			
Pinus spp.	Brasil	15	30
Pinus radiata	Chile	25	22
Pinus radiata	Nova Zelândia	25	22
Pinus elliottii/taeda	USA	25	10
Oregon pine	Canada - costa	45	7
Picea abies	Suécia	70 - 80	4
Picea abies	Finlândia	70 - 80	3,6
Picea glauca	Canada - costa	55	2,5
Picea marina	Canada - leste	90	2

Tabela 39 - Produtividade florestal no Brasil e em outros países. - Fonte: MME/EPE (2015)



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 78 - Espacialização da produção de Lenha de Eucalipto no estado de Minas Gerais, em m³.
Fonte: IBGE (2015).

CARVÃO

O carvão vegetal é considerado um dos insumos mais importantes da indústria siderúrgica brasileira, tendo registrado um consumo de 4,6 milhões de toneladas em 2015, no entanto houve uma queda de 13,2% em relação a 2014. A redução do consumo pode ser justificada pela retração da atividade industrial, em especial do setor automotivo, e devido a pouca competitividade dos produtos siderúrgicos no mercado internacional. De todo o carvão consumido em 2015, 82% foi produzido de madeira proveniente de florestas plantadas (IBÁ, 2016).

O processo de carbonização ou pirólise lenta da madeira consiste no seu aquecimento, a temperaturas acima de 200ºC e inferior a 400ºC, na presença controlada de oxigênio, promovendo modificações dos seus componentes, cujo objetivo é aumentar o teor de carbono na massa resultante do processo, o carvão vegetal. A ocorrência desse processo está intimamente relacionada à composição química dos três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina, além de sofrer influência das suas características físicas e anatômicas.

Segundo Rezende (2006), o processo de carbonização da madeira ocorre em quatro fases: na primeira fase ocorre a secagem da madeira até a temperatura de 110ºC, havendo somente liberação de água. Na segunda fase, que varia de 110º a 250ºC, a 180ºC tem início a liberação da água de constituição pela decomposição da celulose e hemiceluloses e pouca massa é perdida até 250ºC. Forma-se a madeira semicarbonizada ou atiço. A terceira fase ocorre entre 250ºC e 350ºC, com a intensificação da decomposição da celulose e hemiceluloses, havendo expressiva perda de massa e formação de gases, óleo e água. Ao atingir a temperatura de 350ºC o carvão tem aproximadamente 75% de carbono fixo e se considera que a carbonização está praticamente pronta. Na quarta fase, de 350ºC a 500°C, reduz-se gradualmente a liberação de voláteis, principalmente gases combustíveis, continuando a fixação de carbono.

De modo simples, pode-se dizer que a reação de carbonização da madeira consiste, basicamente, em concentrar carbono e expulsar oxigênio pela ação do calor, com consequente aumento do conteúdo energético do produto. Na madeira, os teores de carbono e oxigênio elementar são, em média, respectivamente, de 49% e 44%. Depois de carbonizada, esses teores passam, em média, no carvão vegetal, para 82% e 13,7%. O carvão retém 57% do carbono da madeira, enquanto 89% do oxigênio são volatilizados.

O processo de carbonização da madeira e obtenção do carvão se dá por meio de fornos que, se diferenciam de acordo com características específicas de cada um. Os mais utilizados no Brasil são os fornos "rabo quente", de superfície, de encosta e retangulares. O ciclo completo de carbonização nos fornos retangulares tem duração média de 13 dias, incluindo as etapas de carregamento, ignição, carbonização, resfriamento do leito de carvão e descarga, sendo normalmente quatro dias para carbonizar a madeira e oito dias para o resfriamento do forno e um dia para carregamento e descarregamento do forno. O rendimento gravimétrico em carvão vegetal desses fornos varia de 30 a 35%. Atualmente, estão sendo desenvolvidos queimadores de gases da carbonização para redução de emissões e aproveitamento de energia térmica para secagem da madeira (FIGURA 79).

Figura 79 – Queimador dos gases residuais desenvolvido no projeto de P&D Cemig GT 358 (PD-4951-0358/2010), em parceria com a ArcelorMittal BioFlorestas. - Fonte: Cemig.

O modelo mais simples de forno de alvenaria e ainda utilizado pelos pequenos produtores é o forno denominado circular de superfície (FIGURA 80).

Figura 80 - Forno Circular de Superfície. - Fonte: Autores

A Figura 81 apresenta um balanço de massa típico da produção de carvão vegetal, segundo BRIANE, D. e DOAT, J. (1985).

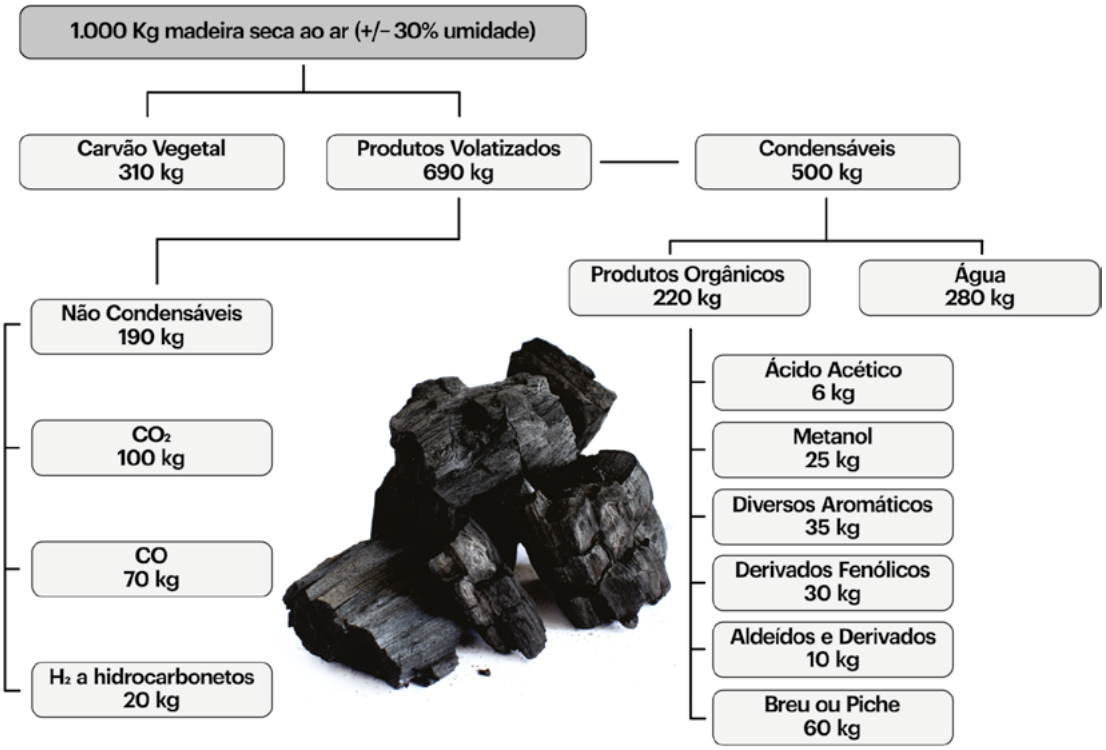


Figura 81 - Balanço Global da conversão de madeira em carvão vegetal.

A Figura 82 mostra a produção média de carvão vegetal com madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais.

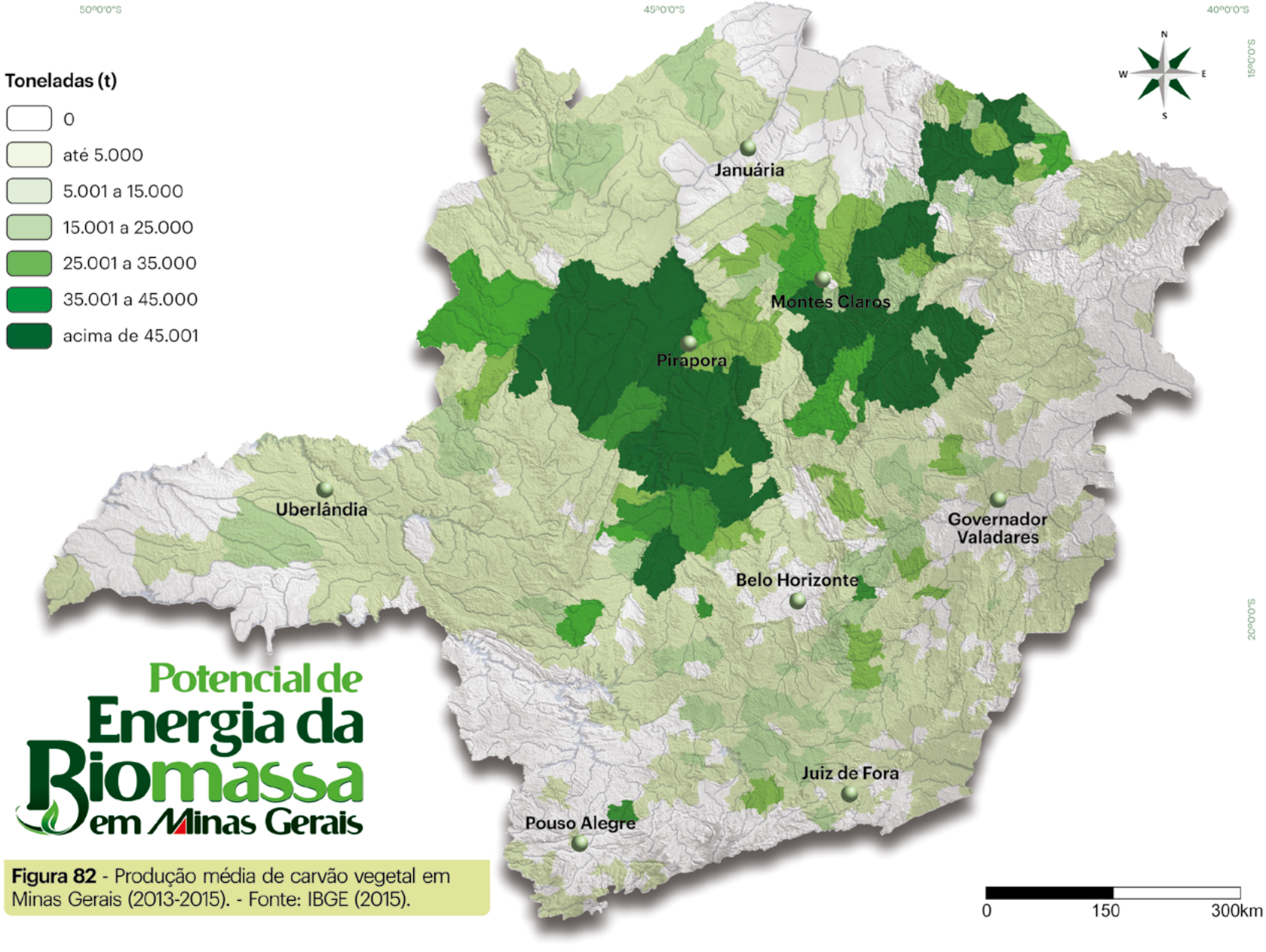


Figura 82 - Produção média de carvão vegetal em Minas Gerais (2013-2015). - Fonte: IBGE (2015).

FORNALHAS PARA QUEIMA DE GASES DA CARBONIZAÇÃO

Os gases gerados durante o processo de carbonização são substâncias combustíveis ricas em carbono e hidrogênio, que sob condições adequadas de temperatura e pressão são capazes de sofrer reações químicas na presença de oxigênio, liberando energia sob a forma de luz e calor. Na carbonização da madeira são gerados gases não condensáveis, sendo os principais CO, CO_2, H_2 e CH_4. No caso de queima completa desses gases, as emissões seriam constituídas apenas de CO_2 e vapor de água.

Com o objetivo de diminuir as emissões de gases gerados durante a carbonização para a atmosfera, tem sido realizada a combustão desses em queimadores de gases ou fornalhas. Queimadores ou fornalhas são dispositivos projetados visando à maior eficiência da combustão e possibilidade de aproveitamento da energia térmica liberada durante o processo de combustão (MAGALHÃES, 2007).

Os queimadores acoplados a fornos de carbonização têm o objetivo de incinerar os gases gerados durante o processo, transformando a poluição em energia na forma de calor. Estes equipamentos conferem as unidades de produção de carvão vegetal um aspecto limpo e contribuem para o processo de carbonização, auxiliando na tiragem de gases do interior do forno para a fornalha em função da pressão negativa gerada no sistema pela chaminé do queimador, conforme observado na Figura 83.

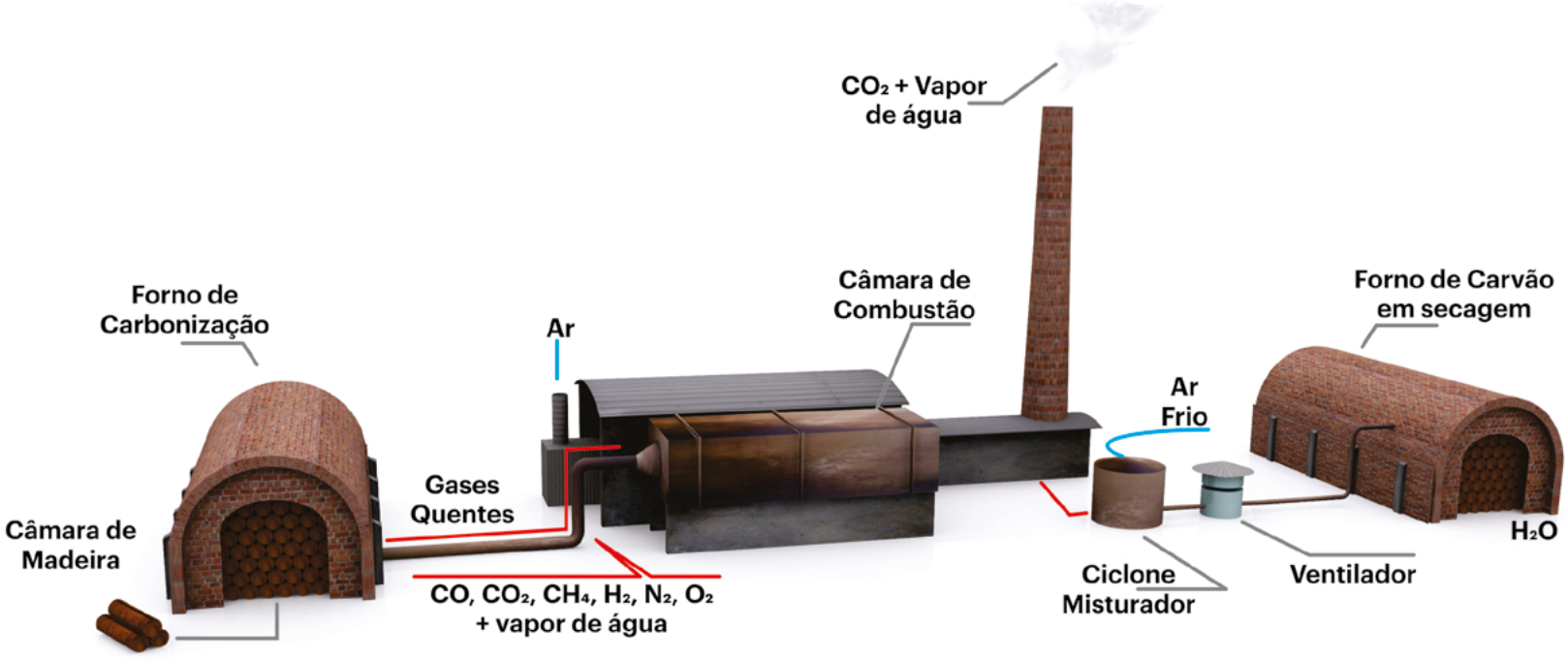


Figura 83 - Sistema de carbonização da madeira com aproveitamento dos gases. - Fonte: Latorre, 2008.

OUTROS PRODUTOS ENERGÉTICOS DA MADEIRA

BRIQUETES

A produção de briquetes a partir de resíduos florestais e agrícolas tem se mostrado viável em diversas indústrias como forma de agregar valor a estes produtos. Por meio deste processo os resíduos são transformados em um produto com maior densidade energética, agregando maior valor econômico aos mesmos, minimizando os impactos ambientais gerados pela sua disposição, na maioria das vezes, inadequada, colaborando, portanto, para um processo sustentável. A fabricação de briquetes apresenta como vantagem a redução do volume dos resíduos e consequentemente o custo de transporte e o armazenamento.

A briquetagem consiste em comprimir uma massa de partículas com aplicação de pressão, o que provoca um aumento de temperatura, plasticizando a lignina, que age como um aglutinante natural, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, mas também, com forma e tamanho definidos.

A qualidade dos briquetes é diretamente influenciada pelas propriedades físicas e químicas da matéria prima utilizada, como por exemplo, a umidade, teor de cinzas, o poder calorífico, o tamanho das partículas e a densidade, bem como os parâmetros de produção.

Vários tipos de biomassa podem ser utilizados no processo de briquetagem, no entanto os resíduos de madeiras (serraria) são os predominantes nos processos de combustão, devido a sua disponibilidade e características energéticas. FROEHLICH et al. (2012) afirmam que o aproveitamento do volume total de uma tora é apenas de 40 a 60%, ou seja, de cada dez árvores cortadas apenas cinco são aproveitadas em sua totalidade. De modo geral, os resíduos gerados em uma cadeia produtiva de madeira serrada constituem-se de 7% de casca, 10% de serragem e 28% de pedaços, isto sem considerar as perdas na extração da madeira (REMADE, 2005). Ressalta-se que esses valores são variáveis de empresa para empresa.

A viabilidade econômica de uma planta de produção de briquetes depende de uma série de aspectos, como por exemplo, o custo de produção dos briquetes, os custos para a implantação da planta de briquetagem, as características da matéria-prima, a competitividade do produto no mercado, a distância de transporte ao mercado consumidor e programas de incentivos governamentais. A complexidade da planta de briquetagem influência significativamente nos custos de investimento e deve ser avaliada em função do volume de produção previsto.

PELLETS

A peletização é um processo de densificação da biomassa com o objetivo de reduzir seu volume, baratear o transporte, facilitar seu uso final, além de aumentar a quantidade de energia por unidade de volume.

Os pellets são granulados de biomassa prensada com uma forma cilíndrica de diâmetros compreendidos entre 4 e 10 mm e um comprimento variável, nunca superior a cinco vezes o seu diâmetro. A sua densidade deve ser superior a 600 kg/m^3 e eles devem conter teor de umidade inferior a 12%. Na Figura 84, visualiza-se a forma dos pellets de biomassa.

Figura 84 - Pellets de biomassa.
Fonte: Autores

A elevada densidade dos pellets e a baixa umidade permitem que se tenha elevada concentração de energia em pequeno volume. Os pellets podem ser produzidos com recurso de várias fontes de matéria-prima, como resíduos da exploração florestal e da indústria madeireira, além de resíduos agrícolas. Dessa forma, são aproveitados resíduos que normalmente não são utilizados ou devidamente valorizados. No entanto, também se pode proceder à produção de biomassa dedicada exclusivamente para esse fim, como por exemplo árvores de espécies florestais de rápido crescimento.

A produção de pellets passa por alguns processos, a saber: a biomassa deve ser triturada, formando-se cavacos, que, em seguida, devem ser secos, até teor de umidade inferior a 15%; os cavacos, então, são moídos; a serragem, por sua vez, é prensada em peletizadoras, de modo a se obter a forma pretendida e, ao final, deve-se acondicioná-la convenientemente.

O teor de umidade nos pellets pode variar de 5 a 10% e afeta significativamente o poder calorífico, que está entre 4,7 e 5,0 MWh por tonelada de pellets.

Os pellets possuem entre 3 e 25 mm de diâmetro e o comprimento varia de 5 a 40 mm. Quando o diâmetro é maior que 25 mm, o produto é chamado de briquete. Os diâmetros mais comuns dos pellets, na Europa, variam de 4 a 10 mm, mas os pellets provenientes do mesmo lote devem ter o mesmo diâmetro, resultando em um produto mais homogêneo e de mais fácil manuseio.

Os pellets são considerados combustíveis renováveis, limpos e naturais, uma vez que a quantidade de CO e CO_2 que libertam, ao serem queimados, é a mesma que a árvore absorveu durante o seu crescimento. Logo, o governo de alguns países já apresenta incentivos fiscais para as empresas que fizerem de seu uso uma realidade.

Outra vantagem dos pellets é o preço. Por serem feitos de resíduos de outras indústrias, o valor é inferior ao da grande parte dos outros combustíveis, sendo então economicamente atrativo. A instabilidade e a tendência crescente do preço do barril de petróleo também vêm contribuindo para a utilização de energias alternativas. Inclusive, o preço dos pellets é menos influenciado por crises mundiais. Logo, além de mais baratos, seu valor no mercado é considerado estável e previsível.

Dessa maneira, os pellets são considerados como combustível alternativo sustentável e com potencialidade para substituição de outros mais usados como o gás natural e o petróleo, diminuindo assim a dependência dos mesmos.

MADEIRA TORREFICADA

A torrefação pode ser definida como uma pirólise parcial da biomassa em ambiente com restrição de oxigênio. O processo ocorre entre 200º e 300°C, sob pressão atmosférica e por curtos tempos de residência, se comparado à pirólise para produção de carvão. Na torrefação da biomassa, obtém-se material torrificado de cor amarronzada à escura, gases condensáveis ricos em ácidos orgânicos e gases não condensáveis compostos principalmente por CO e CO_2, como pode ser visto pela Figura 85 (BERGMAN et al., 2005; NHUCHHEN et al., 2014).

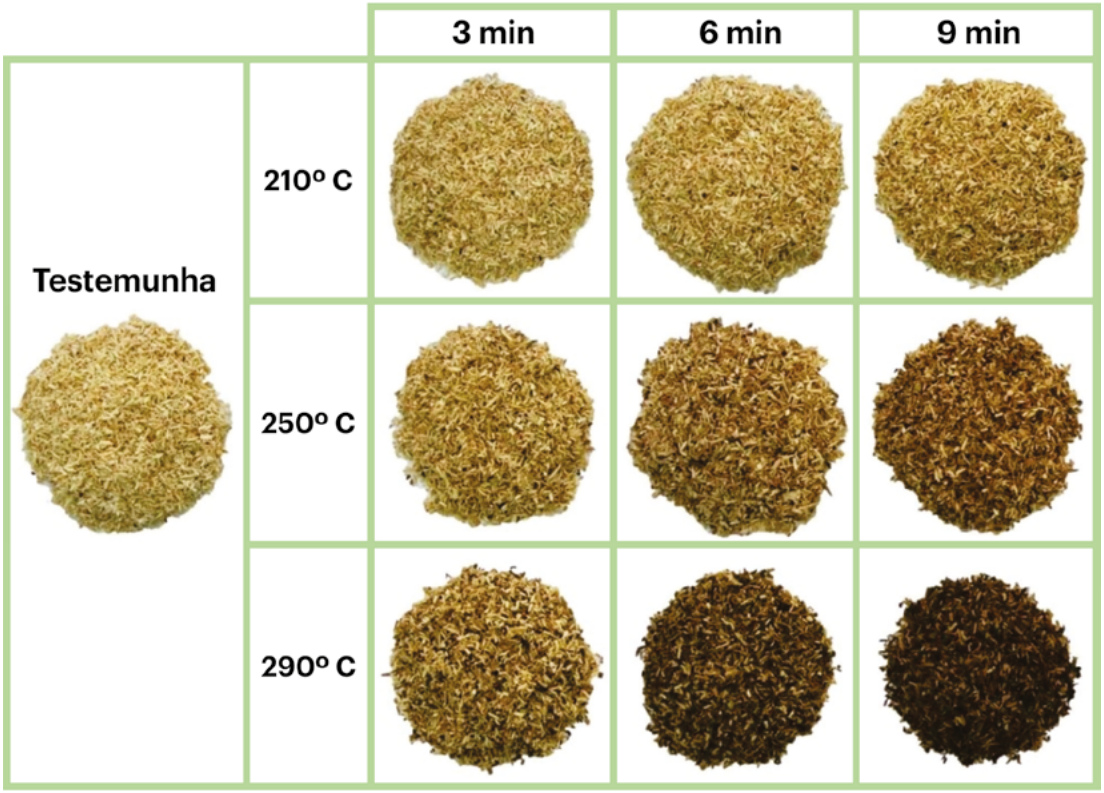


Figura 85 – Biomassa torrificada em diferentes tempos e temperaturas. - Fonte: Autores

Diferentemente da pirólise convencional, na torrefação, o rendimento em massa é superior, sendo seu principal objetivo reduzir os componentes de baixo poder calorífico que estão presentes na biomassa e, assim, preservar grande parte de sua energia. De modo geral, para uma redução em massa da ordem de 20%, ocorre um decréscimo de 10% no conteúdo energético da biomassa (KOPPEJAN et al., 2012).

A biomassa torrificada apresenta propriedades competitivas frente aos combustíveis fósseis e pode ser empregada em processos de conversão térmica, como a gaseificação e cogeração, ou mesmo na conversão, em briquetes e pellets (VAN DER STELT et al., 2011). Na Tabela 40, é apresentada a comparação entre biomassa, pellets e pellets torrificados.

Parâmetro	Biomassa	Pellets	Pellets torrificados
Teor de umidade (%)	35	10	3
Poder calorífico ($MJ.kg^{-1}$)	10,5	16	21
Densidade ($kg.m^{-3}$)	550	600	800
Densidade energética ($GJ.m^{-3}$)	5,8	9	16,7

Tabela 40 – Comparação entre biomassa, pellets e pellets torrificados
Fonte: USLU, et al, 2008.

A torrefação em escala comercial ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento, estando associada à produção de pellets, gaseificação e cogeração de energia e restrita a alguns países da Europa, Estados Unidos e Canadá (WILÉN et al., 2014).

No Brasil, ainda não existe plantas industriais de torrefação da madeira, sendo o desenvolvimento desta técnica mais restrita as principais empresas de bionergia no país e também aos centros de pesquisas, a exemplo da Universidade Federal de Viçosa.

O Custo de produção de torrefação é variável, pois depende tanto dos parâmetros relacionados a matéria prima e quanto do processo. Mas, segundo estudos realizados por Shah et al. (2012) o custo da tonelada de biomassa torrificada fica na faixa de 13 a 37 dolares.

LICOR NEGRO

A produção de celulose nada mais é que a deslignificação da madeira que, para Foelkel (2009), ocorre pela gradual degradação e fragmentação da molécula da lignina. Os principais métodos químicos utilizados na deslignificação da madeira são o processo sulfito (ácido) e os processos soda e Kraft (ambos alcalinos), sendo que processo de polpação Kraft é atualmente o mais utilizado para a produção de polpa celulósica no Brasil, com mais de 95% da produção obtida por esse processo (GOMES, 2009). Ao fim do processo de cozimento da madeira tem-se, como subproduto, um sistema complexo de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos em meio aquoso, denominado licor negro, cuja composição química varia em função dos reagentes empregados no processo (licor branco), das condições de cozimento e, principalmente, do tipo da madeira utilizada (VENTAKESH e NGUYEN, 1985).

De modo, geral, as unidades fábris de celulose mais modernas são autossuficientes em energia, e ainda geram excedente que são negociado com as concessionárias, sendo que só no ano de 2015 cerca de 11,9 milhoes de GJ foram comercializados para a rede publica. E essa energia vem quase que exclusivamente dos subprodutos de seus processos, principalmente do licor negro e resíduos florestais, participando com 62,5% e 17,3%, respectivamente, de toda energia produzida (FIGURA 86) (IBÁ, 2016).

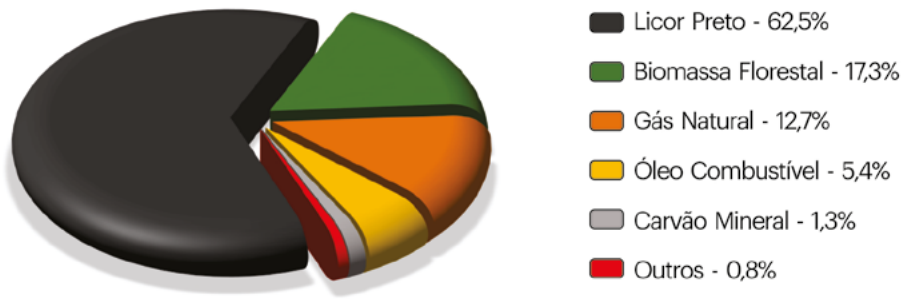


Figura 86 - Fontes de energia utilizadas pelo setor de celulose. - Fonte: IBÁ, 2016

RESÍDUOS FLORESTAIS URBANOS – PODA URBANA

Resídulos sólidos, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas são definidos como quaisquer resíduos que se apresentem nos estados sólido e semi-sólidos resultantes de atividades industrial, domiciliar, hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços de varrição (ABNT, 2004). Outros autores consideram que os estes resíduos compreendem, estritamente, os de origem residencial, comercial, serviços de varrição, de feiras livres, de capinas e de poda (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Independente da abrangência da definição, no Brasil tem-se uma grande geração de resíduos sólidos no ambiente urbano, principalmente nas regiões metropolitanas e, de modo geral, na maioria das vezes não possuem destinação correta ou mesmo sustentável. Sendo assim, em 2010, foi aprovada a Lei 12.305 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece destinação ambientalmente adequada de resíduos incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde e à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. Esta mesma lei estabelece que, poderão ser utilizadas tecnologias que visem a recuperação energética de resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada a viabilidade técnica e ambiental, contemplando a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos.

Um resíduo sólido urbano muito comum é o resultante da poda de árvores e outros vegetais que compõe a arborização dos municípios (FIGURA 87). Oriundo das atividades de manutenção das áreas verdes no ambiente urbano, e realizado tanto por prefeituras municipais quanto por concessionárias de energia elétrica, os resíduos de poda de árvores são compostos por galhos, folhas, raízes e troncos e podem normalmente ser obti-

dos ao longo de todo o ano. Apesar de alguns trabalhos feitos na tentativa de aproveitar estes resíduos, pesquisas apontam que este material vem sendo, em grande quantidade, descartados em aterros na maioria dos municípios (CENBIO, 2007).

Embora a classificação dos resíduos de poda de acordo com a NBR 10.004/2004 seja classe II, não perigoso, a disposição destes em aterros pode provocar uma série de problemas, pois podem interagir química e biologicamente com materiais preexistentes, causando impactos sobre a qualidade do solo, água e ar (CORTEZ, 2008).

Além dos fatores ambientais e econômicos que envolvem a utilização ou a disposição final dos resíduos, a Lei 12.305 estabelece que compete ao gerador a responsabilidade pelos resíduos sólidos gerados, compreendendo as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

Figura 87 - Poda Urbana.
Fonte: Cemig (2011)

Dentro desse contexto, é crescente a busca por processos que transformem resíduos em subprodutos, sendo esses alavancados e potencializados pelas empresas, centros de pesquisas e os gestores municipais. O principal foco dessa questão é evitar a deposição em aterros sanitários e ao mesmo tempo proporcionar ao material, novas utilizações, por conseguinte valoração econômica e adequações ambientais (JURAS, 2001).

Ressalta-se, também, o desafio da convivência entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização urbana devido a necessidade da manutenção das redes de

energia concomitantemente com a existência da vegetação, a qual é necessária por questões ambientais e paisagísticas. Assim, a poda das árvores no ambiente urbano é uma atividade constante e que demanda mão de obra efetiva e técnica das prefeituras e também soluções para a disposição correta de todo o volume gerado (SOUZA, 2014).

Além disso, presume-se que o resíduo de poda é um material muito heterogêneo, pois é oriundo de diversas espécies usadas na arborização urbana.

Existem várias rotas para aproveitamento dos resíduos de poda para energia, porém devido principalmente a heterogeneidade e a baixa densidade destes, a briquetagem e a pelletização são, atualmente, uma das alternativas mais viáveis técnica e economicamente para transformá-los em combustíveis com alta densidade energética e competitivo perante outras fontes. Além disso, pode-se utilizar os resíduos de podas urbana conjuntamente com outros resíduos para melhor destinação dos mesmos, conforme pode ser observado na pesquisa de Souza, 2014, que produziu e qualificou pellets com resíduos de poda urbana e lodo de flotação, obtendo resultados satisfatórios (FIGURA 88).

Figura 88 – Pellets produzidos com diferentes misturas de resíduos de poda urbana e lodo de flotação. - Fonte: Souza, 2014.

De acordo com Gentil (2008), os produtos compactados produzidos a partir de diferentes biomassas residuais vêm se destacando no mercado, principalmente pelo apelo ambiental, e também pelo custo competitivo perante as fontes fósseis de energia. Segundo Karamazovi (2011) os produtos compactados além de servirem para gerar energia térmica e elétrica para as indústrias, também são utilizados em restaurantes, pizzarias, padarias, olarias, lareiras, dentre outros. Paula (2010) corroborando diz que toda empresa que possuir um forno ou uma caldeira na qual possa ser utilizada lenha, é um cliente potencial para usar briquetes e pellets.

O Anexo A apresenta um estudo mais detalhado sobre os vegetais lenhosos, abrangendo suas principais características, classificações e conceitos.

4

POTENCIAL ENERGÉTICO

Luciano Sathler dos Reis
Ruibran Januário dos Reis
Maria Lúcia Calijuri
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
Benedito Rocha Vital
Eduardo de Aguiar do Couto
Melina Amoni Silveira Alves
Paula Peixoto Assemany
Sabrina do Carmo Alves
Thaisa Ribeiro Teixeira

4.1 PODER CALORÍFICO

Poder calorífico é a medida da quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma unidade de massa ou volume do combustível, em forma de calor, podendo ser expresso em cal/g, kcal/kg, para os combustíveis sólidos, ou kcal/Nm^3, para os combustíveis líquidos e gasosos. É possível obter três formas de poder calorífico, ou seja, o poder calorífico superior, inferior e útil. O poder calorífico superior é determinado em equipamentos denominados calorímetros, sob condições controladas, e representa a quantidade máxima de calorias que o combustível libera quando queimado totalmente, pois não é perdido o calor latente do vapor d'água. O poder calorífico inferior é estimado a partir do poder calorífico superior e do teor de hidrogênio do combustível, ou seja, aqui desconta-se o calor latente do vapor d'água. Cálculos teóricos das entalpias de formação da água retida no estado líquido e perdida no estado gasoso indicam que o calor latente do vapor d'água seria de aproximadamente de 600 cal/g. Essa quantidade de energia é perdida quando o vapor d'água sai do sistema.

Existem diversas equações para estimar o poder calorífico interior, por exemplo, pode ser considerada a equação 2.

Equação 2

$$PCI = PCS - 600 \times 9H/100$$

onde, PCI é o poder calorífico inferior, PCS o poder calorífico superior e H é o teor de hidrogênio do combustível.

Na prática pode-se considerar, por exemplo, que a biomassa de eucalipto, possua aproximadamente 6% de hidrogênio na sua composição química elementar e, dessa forma, a equação 2 pode ser simplificada conforme a equação 3.

Equação 3

$$PCI = PCS - 324$$

Pelas equações 2 e 3 pode-se verificar que o teor de umidade presente no combustível não é considerado, assim essa estimativa de poder calorífico somente é aplicada caso o combustível seja utilizado na forma anidra, ou seja, isento de umidade. Segundo Brand (2010) se o combustível possuir umidade deve-se descontar ainda o calor necessário para evaporar essa água e obter o poder calorífico líquido ou útil. Esse valor representa a quantidade de energia térmica a ser realmente liberada em virtude da queima do combustível.

Segundo Lehtovaara (2004), citado por Brand (2010), para a madeira o poder calorífico líquido ou útil, considerando a umidade na base úmida, pode ser estimado pela equação 4.

Equação 4

$$PCU = PCI \times \left[\left(\frac{100 - U}{100}\right)\right] - (6 \times U)$$

em que, PCU é o poder calorífico útil, PCI é o poder calorífico inferior, obtido pela equação 2 ou 3, e U é o teor de umidade, base úmida.

Doat (1977), citada por Brito e Barrichelo (1982), propôs uma forma para a estimativa do PCU com base a umidade na base seca. A equação 5 mostra essa forma de cálculo.

Equação 5

$$PCU = \left[\left(\frac{PCI - (6 \times U)}{100+U}\right)\right] \times 100$$

onde, U é o teor de umidade, na base seca.

Brand (2010) comparando o resultado fornecido pela equação 3 e o poder calorífico medido em laboratório para amostras de madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* encontrou diferença insignificante entre as duas formas de medição do poder calorífico útil, demonstrando e eficiência da fórmula.

A escolha de qualquer um dos poderes caloríficos descritos anteriormente exerce influência sobre os cálculos de rendimento em sistemas térmicos. Nogueira e Lora (2003), citados por Brand (2010), relatam a importância de deixar bem claro qual foi o poder calorífico utilizado nos cálculos de eficiência e perdas de calor em fornos e caldeiras, pois utilizando o PCS, PCI ou PCU os valores de eficiência serão diferentes.

Além do poder calorífico com base a massa de material, pode-se determinar o mesmo com base o volume do combustível. Para se estimar esta forma de valor calórico ou o poder calorífico volumétrico deve-se conhecer a densidade do combustível utilizado. A estimativa de poder calorífico volumétrico para o caso da madeira pode ser obtida pelas equações 6 ou 7.

Equação 6

$$PCV = DB \times PCS$$

Equação 7

$$PCV = DA \times PCU$$

em que, DB é a densidade básica (kg/m^3) e DA é a densidade aparente da madeira (kg/m^3), obtida em dado teor de umidade.

Para os cálculos do potencial gerado pelas diferentes fontes de biomassas agrícolas e florestais, será utilizado o poder calorífico útil (PCU), ou seja, será considerado a umidade da biomassa para os cálculos.

Pode-se observar na Tabela 41, alguns exemplos de PCU para alguns tipos de biomassa. Fica evidente que quanto maior a umidade, menor é sua capacidade de conversão em energia térmica.

Biomassa	H (%)	PCS	PCI	PCU (10%)	PCU (20%)	PCU (30%)	PCU (40%)
Café[b,c]	6,3	4.364	4.024	3.562	3.099	2.637	2.174
Madeira[a,b]	6,6	4.579	4.223	3.741	3.258	2.776	2.294
Milho[a]	6,6	4.414	2.057	3.591	3.126	2.660	2.194
Soja[a]	6,55	4.266	3.913	3.461	3.010	2.559	2.108
Arborização[d]	5,41	5.059	4.767	4.230	3.693	3.157	2.620

Sendo: H (%) – Teor de Hidrogênio médio (%); PCS – Poder Calorífico Superior (Kcal/kg); PCI – Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg); PCU – Poder Calorífico Útil (Kcal/kg) em função da Umidade (%). - Fonte: (a) Ramos e Paula et al. (2011); (b) Protásio et al. (2011); (c) Jardim (2014); (d) Souza (2014).

Tabela 41 - Exemplos de poder calorífico útil para alguns tipos de biomassa

4.2 POTENCIAL ENERGÉTICO DO CAFÉ

Para a estimativa do potencial energético a partir dos resíduos do café, foi levado em conta os valores das produções municipais de MG no período de 2010 a 2015. A eficiência de conversão para os resíduos adotada foi de 15%, de baixo rendimento termodinâmico - sistemas compostos de caldeira de 20 bar, turbina de condensador atmosférico.

O dado apresentado pelo IBGE é em toneladas de café beneficiado, portanto é necessário considerar a casca como resíduo agrícola aproveitável, que apresenta um fator de conversão de 1:1, ou seja, uma tonelada de café beneficiado gera uma tonelada de casca mais pergaminho (GIOMO, 2006). O poder calorífico útil da casca foi considerado 3.399,8 kcal/kg com 13,5% de umidade. Será utilizado um fator de disponibilidade para coleta de 40%, ou seja, o restante deve permanecer no campo para garantir a sustentabilidade do processo. Considera-se que a geração de energia elétrica ocorra em 95% das horas anuais, correspondendo a 8322 horas. A conversão de kcal/kg para kWh/kg se dá pela divisão por 860. O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 8.

Equação 8

$$Potencial_{café}\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{café} * F_C * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860}$$

em que,
$t_{café}$ - produção de café (toneladas);
F_C fator de conversão de tonelada café para tonelada de biomassa = 1,0;
PCU - poder calorífico útil a 13,5% de unidade = 3399,8 (kcal/kg);
F_D - fator de disponibilidade para coleta 0,4;
η - eficiência de conversão = 0,15;
8322 - 95% das horas anuais;
860 - conversão de kcal/kg para kWh/kg.

A Figura 89 mostra o potencial energético da biomassa de café no estado.

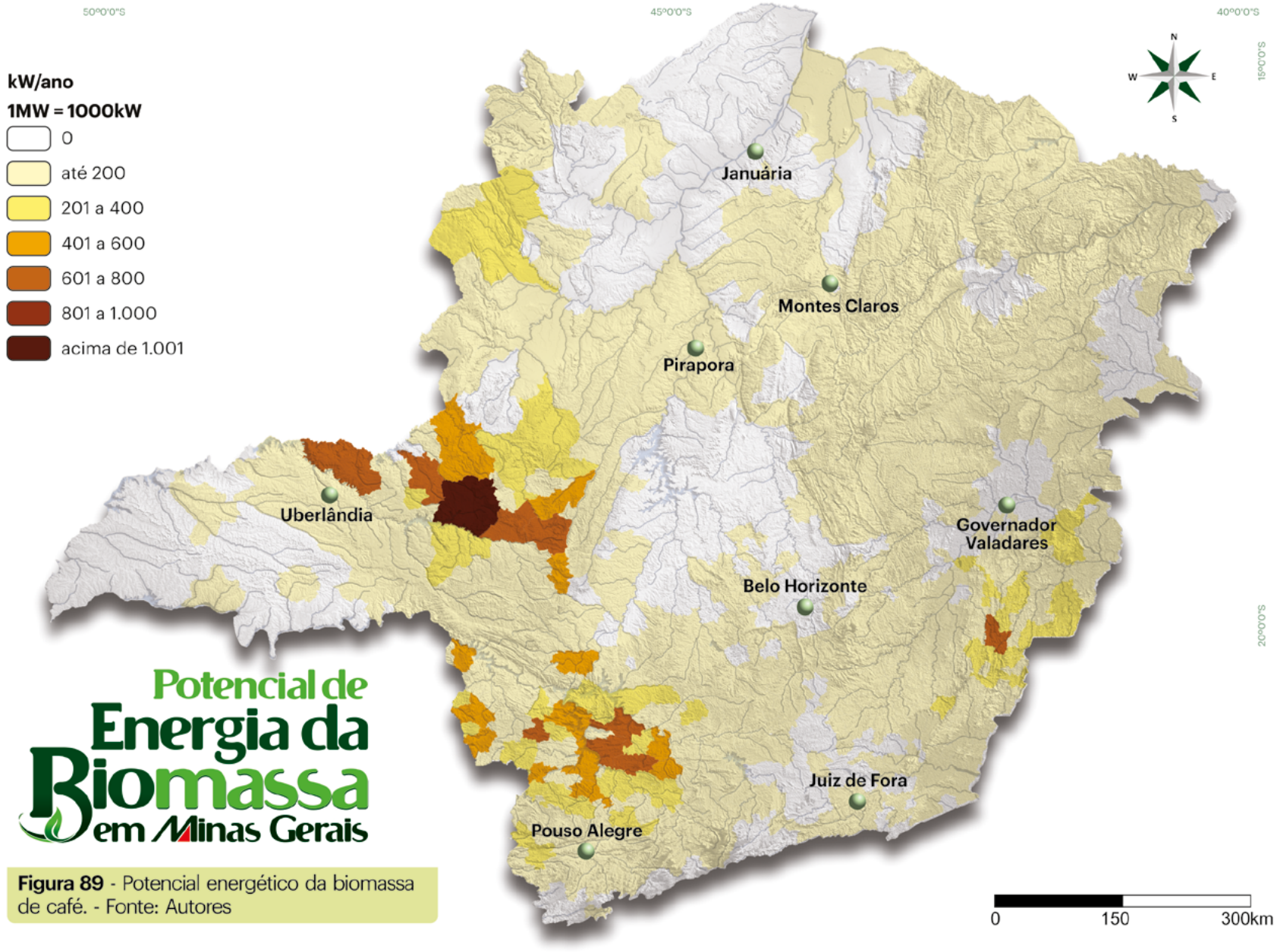


Figura 89 - Potencial energético da biomassa de café. - Fonte: Autores

4.3. POTENCIAL ENERGÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR

BAGAÇO

Para a estimativa do potencial energético a partir do bagaço da cana-de-açúcar, foi levado em conta os valores das produções municipais em Minas Gerais no período de 2010 a 2015, os dados de plantio de cana e produção foram obtidos junto a SIAMIG (2017) e o IBGE (2015), respectivamente. Foram considerados três cenários, de acordo com a metodologia CENBIO (2012) para cana-de-açúcar.

Cenário 1 – 30kW/tonelada de cana moída, equação 9:

Equação 9

$$Potencial\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{cana} * 30\ kW/t}{1000 * 5563}$$

Considera-se que o sistema opere somente durante a safra com os resíduos gerados (abril a novembro) resultando em 5563 horas de operação por ano.

Cenário 2 – 60kW/tonelada de cana moída, equação 10:

Equação 10

$$Potencial\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{cana} * 60\ kW/t}{1000 * 5563}$$

Considera-se que o sistema opere somente durante a safra com os resíduos gerados (abril a novembro) resultando em 5563 horas de operação por ano.

Cenário 3 – 120kW/tonelada de cana moída, equação 11:

Equação 11

$$Potencial\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{cana} * 120\ kW/t}{1000 * 8322}$$

Considera-se que o sistema opere o ano todo com os resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, o que resulta em 8322 horas de operação/ano. Neste caso são considerados, além do bagaço, a palha e as pontas, resultantes da colheita da cana crua.

As Figuras 90, 91 e 92 apresentam o potencial energético da biomassa de cana-de-açúcar para Minas Gerais, considerando os cenários de 30, 60 e 120 kW/tonelada de bagaço, respectivamente.

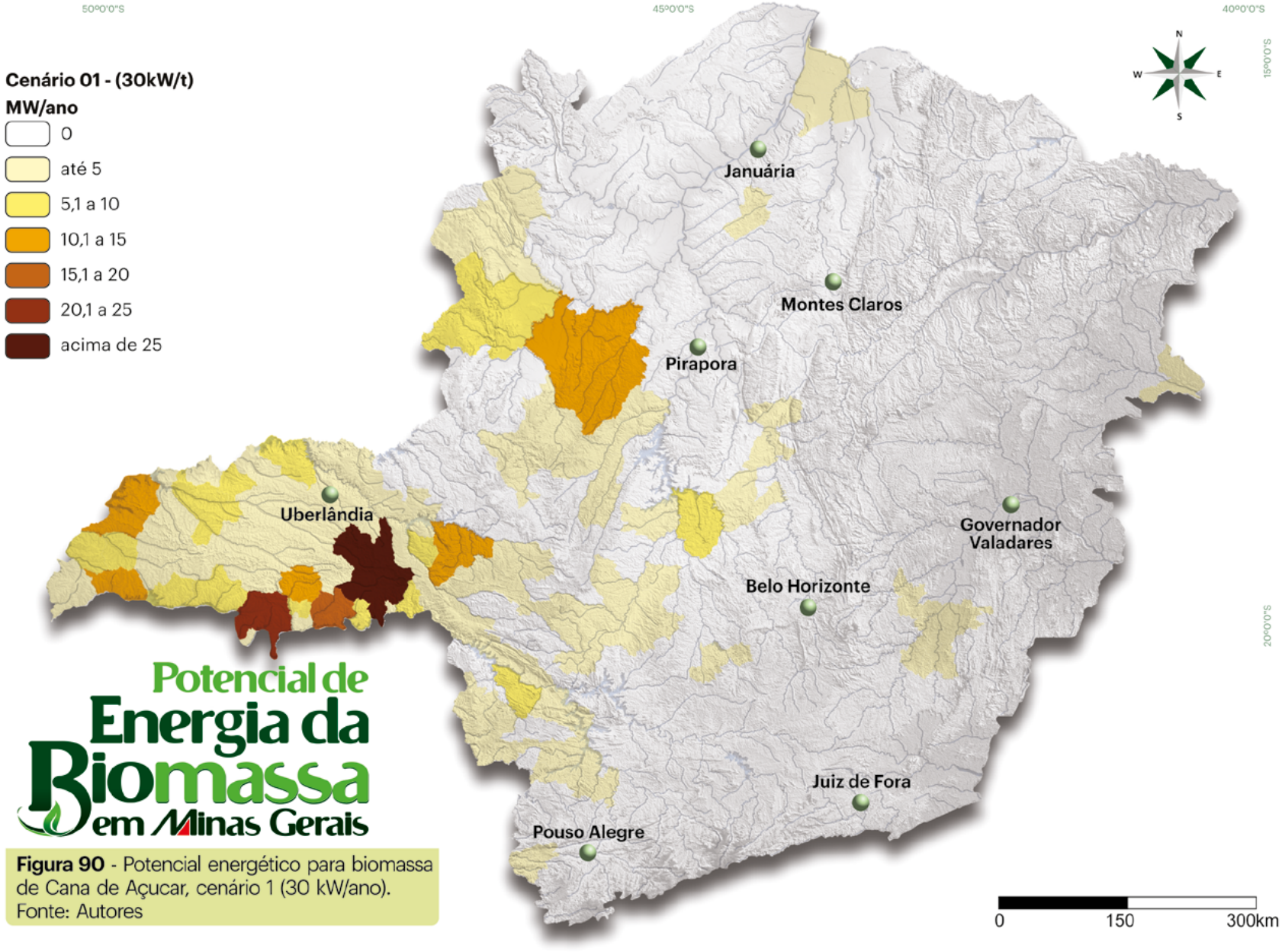
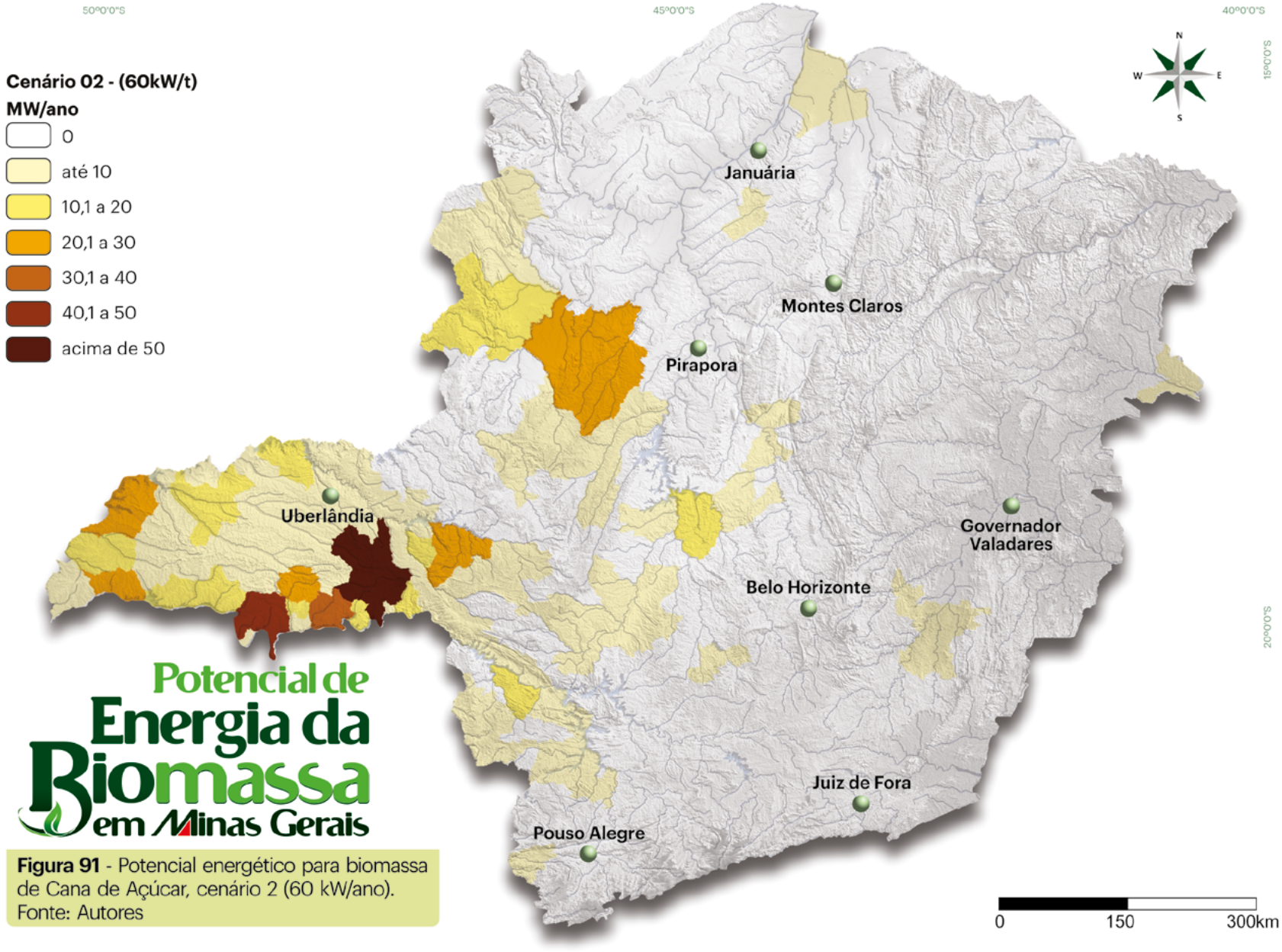
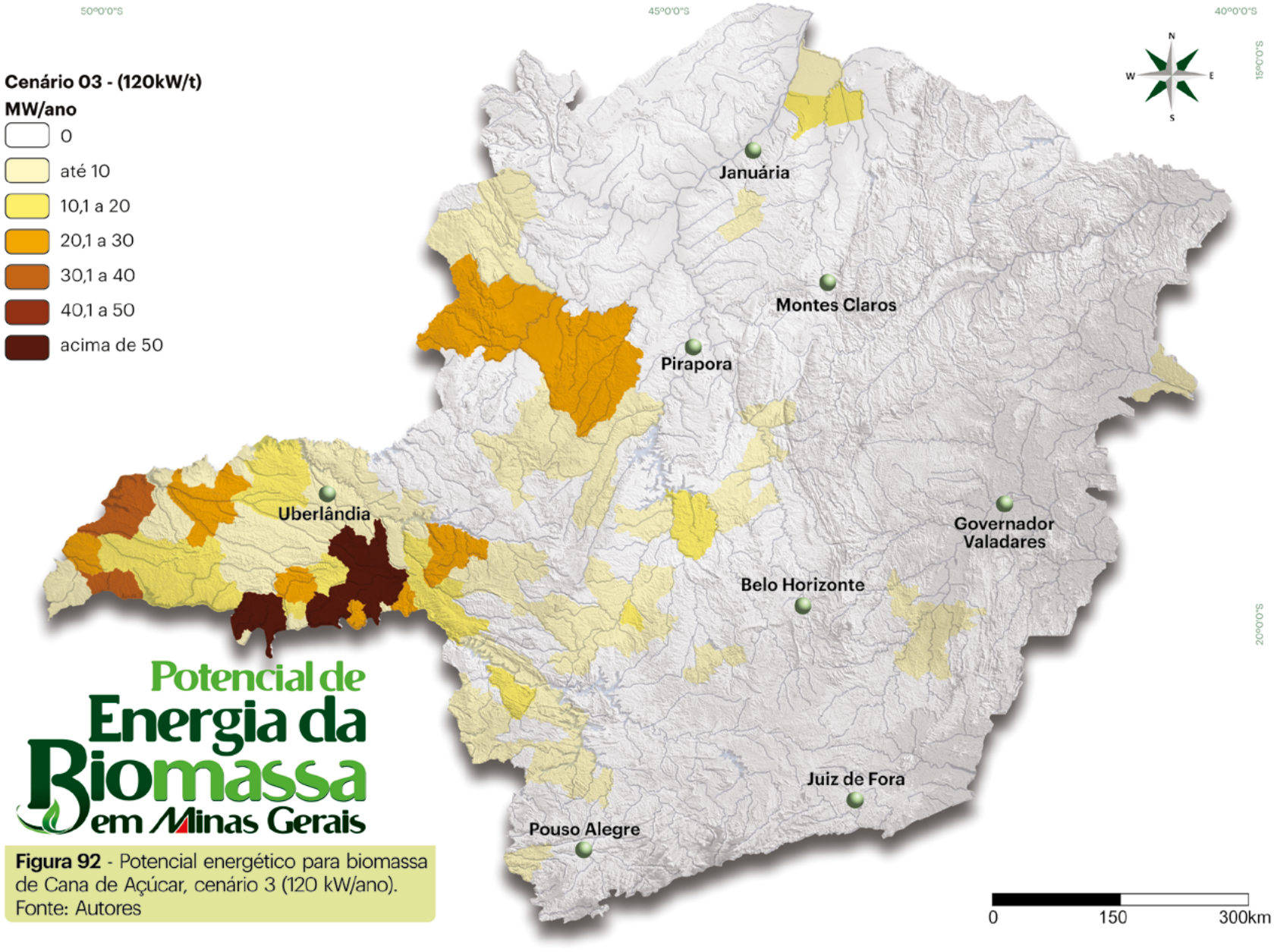


Figura 90 - Potencial energético para biomassa de Cana de Açucar, cenário 1 (30 kW/ano).
Fonte: Autores



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 91 - Potencial energético para biomassa de Cana de Açúcar, cenário 2 (60 kW/ano). Fonte: Autores



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 92 - Potencial energético para biomassa de Cana de Açúcar, cenário 3 (120 kW/ano).
Fonte: Autores

VINHAÇA

Para a estimativa do potencial energético a partir da vinhaça, foi levado em consideração os valores das produções de cana, nos municípios de Minas Gerais no período de 2010 a 2015, os dados de plantio de cana e produção foram obtidos junto a SIAMIG (2017) e o IBGE (2015), respectivamente. Como a vinhaça é um subproduto da fabricação do etanol, considerou-se que 50% da produção de cana-de-açúcar em Minas Gerais foi destinada à produção de etanol e o restante para açúcar. Estes valores podem variar, dependendo da relação entre o preço do açúcar e do etanol a cada ano.

O potencial energético a partir da vinhaça é dado por (Adaptado de COELHO et al., 2016), equação 12:

Equação 12

$$Potencial\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{cana} * F_{etanol} * F_{vinhaça} * DQO * \eta_1 * F_{biogás} * PCI * \eta_2}{8.760 * 860 * 1.000}$$

em que,
t_{cana} - produção de cana (toneladas por ano);
F_{etanol} fator de conversão de tonelada de cana para litro de etanol;
$F_{vinhaça}$ fator de conversão de litro de etanol para litro de vinhaça;
DQO - demanda química de oxigênio (kg/L) = 0,029 kg/L (SALOMON et al. 2007);
η_1 - eficiência de remoção de DQO = 0,717 (POMPERMAYER e PAULA, 2003);
$F_{Biogás}$ fator de conversão de biogás por DQO removida (Nm^3/kg);
PCI - Poder calorífico inferior = 5.100 kcal/Nm^3.;
η_2 eficiência da turbina - 35%;
860 - fator de conversão de kcal/m^3 para kWh/m^3.
1.000 conversão de kW para MW.

A seguir, algumas variáveis da equação 12 são detalhadas:

F_{etanol} - fator de conversão de tonelada de cana para litro de etanol.

Considerou-se o valor de 80 litros de etanol por tonelada de cana-de-açúcar (CONAB, 2007);

$F_{vinhaça}$ - fator de conversão de litro de etanol para litro de vinhaça. A produção de vinhaça por litro de etanol e de 11,9 $L_{vinhaça}/F_{etanol}$ (ANDRADE, 2009);

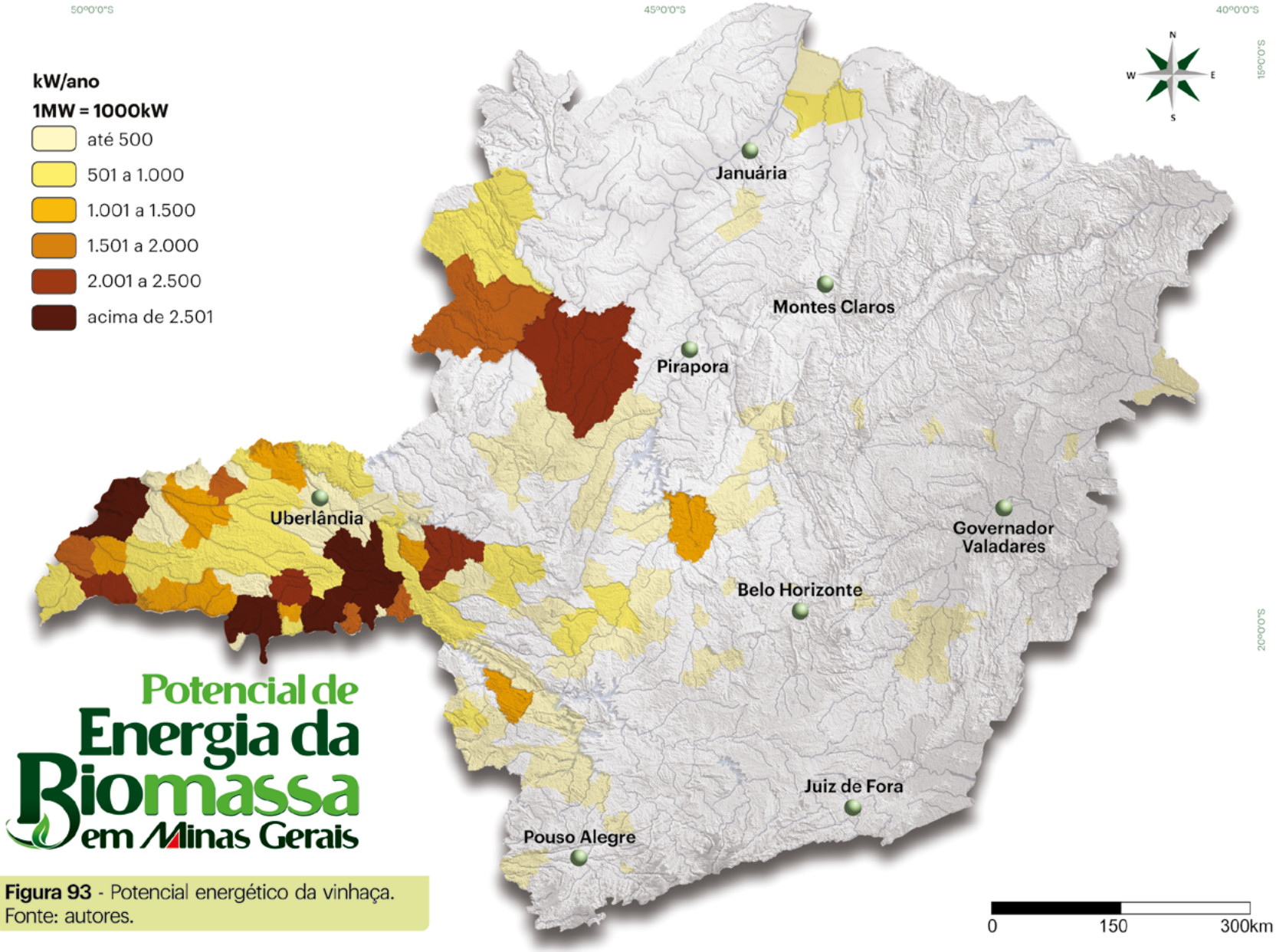


Figura 93 - Potencial energético da vinhaça.
Fonte: autores.

4.4 POTENCIAL ENERGÉTICOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DOMÉSTICOS

A indústria de tratamento de efluentes não necessariamente preocupa-se em aliar eficiência energética com eficiência de remoção de poluentes. O setor de saneamento possui demanda considerável de energia, sendo equivalente a aproximadamente 2,6% da demanda energética do Brasil (BEN, 2008).

Segundo Fritz et al. (2011), os lodos de efluentes industriais e domésticos são considerados biomassa de alto poder calorífico, quando possuem baixa umidade, e são essencialmente de origem orgânica. Na Tabela 42 são apresentados valores típicos do poder calorífico de diferentes tipos de lodo oriundos de efluentes domésticos.

Tipo de lodo	Poder calorífico (kJ/kg peso seco)
Lodo bruto primário	23.300 - 29.000
Lodo digerido anaeróbio	12.793
Lodo ativado	19.770-23.300

Tabela 42 - Poder calorífico de diferentes tipos de lodo de esgoto. - Fonte: Adaptado de Luduvice e Fernandes (2001).

De uma forma geral, elevados teores de carbono e hidrogênio, além de reduzidos conteúdos de umidade e oxigênio contribuem para um poder calorífico maior. Nesse sentido, lodos de ETE submetidos a processos térmicos ou de secagem garantem elevados poderes caloríficos, inclusive superiores ao da madeira, como apresentado por Fonts et al. (2009). Considerando o balanço energético de todo o processo, ressalta-se a importância do desenvolvimento e utilização de técnicas de secagem com reduzida demanda de energia, como a secagem utilizando energia solar, por exemplo.

O aproveitamento energético do lodo pode ser realizado por meio de processos termoquímicos e/ou bioquímicos. Nos processos termoquímicos, o material orgânico presente no lodo é degradado sob condições controladas de temperatura, pressão e teor de oxigênio. Os processos térmicos mais comuns são a pirólise, a gaseificação e a combustão/incineração. Em todas essas alternativas pode-se obter uma expressiva redução do volume e da massa de resíduos finais, além da prevenção de odores e eliminação da biodegradabilidade e do potencial de formação de metano e chorume nos aterros sanitários. Para esses processos existe a necessidade de secagem e/ou desidratação do lodo, o que vai elevar o poder calorífico (WERLE e WILK, 2010). Dentre os processos bioquímicos, destaca-se a digestão anaeróbia. O biogás, gerado por meio da digestão anaeróbia da matéria orgânica contida em efluentes e resíduos domésticos, industriais e agropecuários, caracteriza-se como uma fonte alternativa e renovável de energia cada vez mais utilizada em todo o mundo. No Brasil, o elevado índice populacional, sua convergência em grandes centros urbanos e a elevada produção agropecuária e agroindustrial comprovam um considerável potencial de produção de biogás.

O cálculo do potencial de produção de metano a partir do aproveitamento energético dos resíduos de ETEs foi realizado considerando o que cada habitante de Minas Gerais

produz 150 litros de esgoto tratado por dia (COPASA, 2017), logo esse efluente poderá ser tratado através de digestão anaeróbia para geração de metano, mediante a seguinte equação 13:

Equação 13

$$Metano\left(\frac{ton\ CH_4}{ano}\right) = (Pop\ x\ ET\ x\ DBO_5\ x\ \eta\ x\ MFEM) - R$$

em que,
Pop - População da cidade (habitantes);
ET - Efluente tratado (m^3/hab. ano);
DBO_5 - taxa de geração de demanda bioquímica de oxigênio (ton DBO_5/m^3);
η - eficiência do reator responsável pelo processo de digestão anaeróbica;
MFEM - máximo fator de emissão de metano (fração adimensional);
R - Quantidade de metano recuperado (kg CH_4/ano).

A seguir cada variável da equação 13 é detalhada:

- ET – efluente tratado (m^3/hab.ano)

Foi considerado o valor de 0,150 m^3/ hab.dia de efluente tratado, segundo COPASA (2017).

- Cálculo da Taxa de Demanda Bioquímica de Oxigênio - Taxa DBO_5.

- A geração de carga orgânica para a população do Brasil, segundo Feachem (1983), equivale a 0,05 kgDBO_5 por habitante por dia. Segundo a norma ABNT NBR 7229/93 são utilizados, aproximadamente, 160 litros de água por dia por habitante nas regiões urbanas, o que equivale a 0,312 kgDBO_5/m^3 de esgoto gerado. Para os cálculos foi considerado o valor em toneladas de 0,000312 tonDBO_5/m^3.

- Cálculo da Eficiência do Biodigestor.

Adotou-se uma eficiência de 50% para os biodigestores anaeróbios com base na eficiência média desses equipamentos.

- Cálculo do Máximo Fator de Emissão de Metano - MFEM.

O valor assumido para o máximo fator de emissão de metano é igual ao valor sugerido pelo *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC) de 0,25 tCH_4 por tonelada de DBO_5.

- Cálculo da Quantidade de metano recuperado - R

A quantidade de metano recuperado é considerada insignificante.

Considerando o poder calorífico inferior (PCI) do gás metano 8604 kcal/m³, podemos estimar o potencial energético do lodo gerado nas ETEs. O biogás pode ser queimado na atmosfera ou ter aproveitamento energético. Queimando esse gás é possível converter, a partir de ciclo de potência, o calor gerado pela queima do mesmo em energia elétrica, como demonstrado pela equação 14.

Equação 14

$$Potencial\ lodo\ de\ esgoto\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{metano} * 1.000 * PCI * \eta}{\rho * 8322 * 860}$$

em que,
t_{metano} - quantidade de metano gerada no ano, obtida na Equação 1 (tonelada);
1.000 - Conversão de tonelada para kg;
PCI - Poder calórico inferior = 8.604 kcal/m³;
η - Eficiência de conversão = 0,28;
ρ - Densidade do metano = 0,74 kg/m³;
8760 = considera-se funcionamento durante todo o ano;
860 = fator de conversão de kcal/kg para kWh/kg.

A Figura 94 apresenta o potencial energético para os efluentes líquidos domésticos.

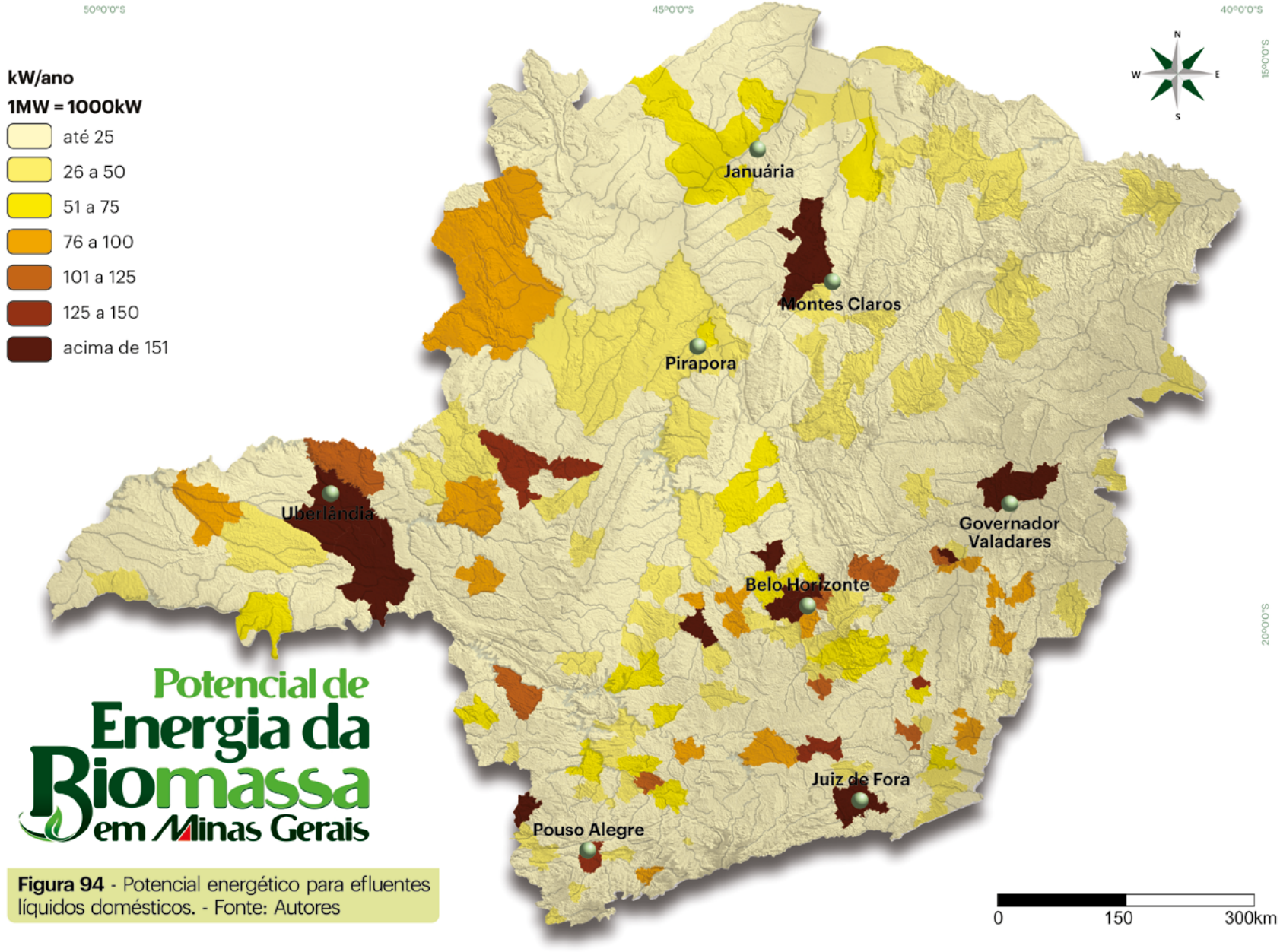


Figura 94 - Potencial energético para efluentes líquidos domésticos. - Fonte: Autores

Além da geração de biocombustíveis, existem outras formas de aproveitamento do lodo, tanto na indústria (fabricação de tijolos e cerâmicas; produção de agregado leve para construção civil; produção de cimento) quanto na agricultura (fertilizante orgânico e compostagem; recuperação de solos degradados). O uso do lodo (rico em matéria orgânica) na agricultura tem sua destinação mais nobre para a produção de fertilizantes orgânicos tendo em vista os nutrientes (nitrogênio, fósforo e matéria orgânica) presentes em sua composição que tendem a aumentar a fertilidade dos solos (FONTS et al., 2012).

4.5 POTENCIAL ENERGÉTICO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ANIMAIS

Para a determinação do potencial de geração de energia elétrica do biogás produzido a partir dos resíduos animais utilizou-se, dados do IBGE para determinar quantidade de animais por município do estado de Minas Gerais, entre os anos de 2010 a 2015.

A equação para o cálculo da estimativa da produção de biogás apresenta dados de entrada que permitem obter o potencial energético para os dejetos de bovinos, suínos e aves (CENBIO, 2012). A partir dos dados da Tabela 43 e da equação 15, calculou-se o potencial de produção de metano dos efluentes animais.

Origem	kg esterco/dia Unidade Geradora (Et)	kg biogás/kg de esterco (Pb)	Concentração de Metano % (CH_4)
Suínos	2,25	0,062	66
Bovinos	10	0,037	60
Aves	0,18	0,055	60

Tabela 43 - Valores de conversão energética para os efluentes suínos, bovinos e de aves. Fonte: Motta, 1986

Equação 15

$$m^3\,Metano = 365\,dias * N_{animais} * Et * Pb * CH_4 * VE\text{-}^1$$

em que,
$N_{animais}$ - número de animais;
Et - esterco total (kg esterco/dia.unidade geradora), Tabela 1;
Pb - produção de biogás (kg biogás/kg de esterco) Tabela 1;
CH_4 - concentração de metano no biogás (%), Tabela 1;
$VE\text{-}^1$ - volume específico do metano = 0,670 kg CH_4/m^3CH_4.

Considerando o poder calorífico inferior (PCI) do gás metano 8.604 kcal/m³, podemos estimar o potencial energético dos efluentes líquidos animais. O biogás pode ser queimado na atmosfera ou ter aproveitamento energético. Queimando esse gás é possível converter, a partir de ciclo de potência, o calor gerado pela queima do mesmo em energia elétrica, como demonstrado pela equação 16.

Equação 16

$$Potencial\ efluentes\ animais\ \left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{metano}{}^{*}1.000{}^{*}PCI{}^{*}\eta}{\rho{*}8322{*}860}$$

em que,
t_{metano} - quantidade de metano gerada no ano, obtida na Equação 6 (tonelada);
1.000 - Conversão de tonelada para kg;
PCI - Poder calórico inferior = 8.604 kcal/m³;
η - Eficiência de conversão = 0,28;
ρ - Densidade do metano = 0,74 kg/m³;
8760 = considera-se funcionamento durante todo o ano;
860 = fator de conversão de kcal/kg para kWh/kg.

As Figuras 95, 96 e 97 apresentam o potencial energético de efluentes líquidos para suínos, bovinos e aves, respectivamente.

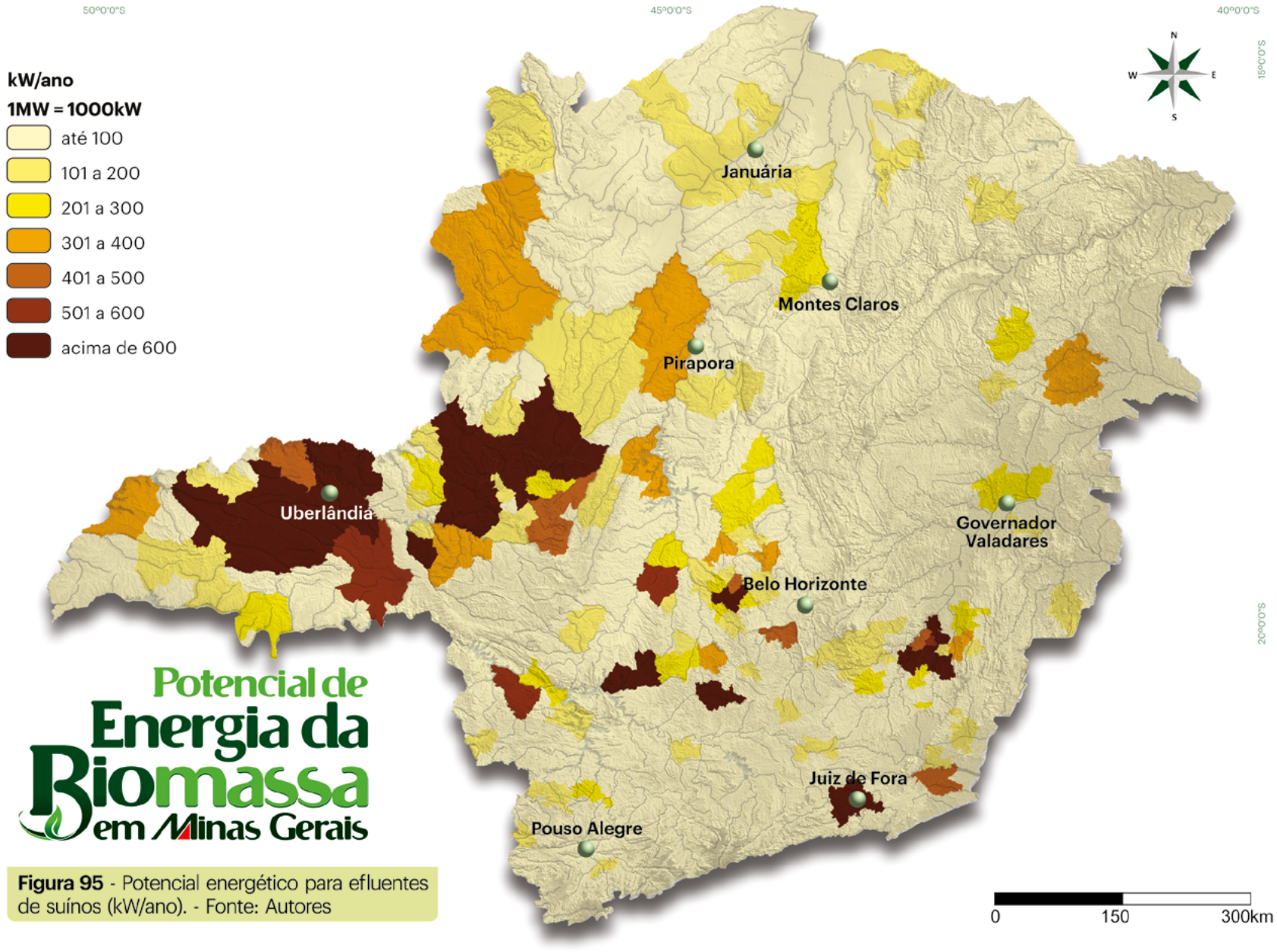


Figura 95 - Potencial energético para efluentes de suínos (kW/ano). - Fonte: Autores

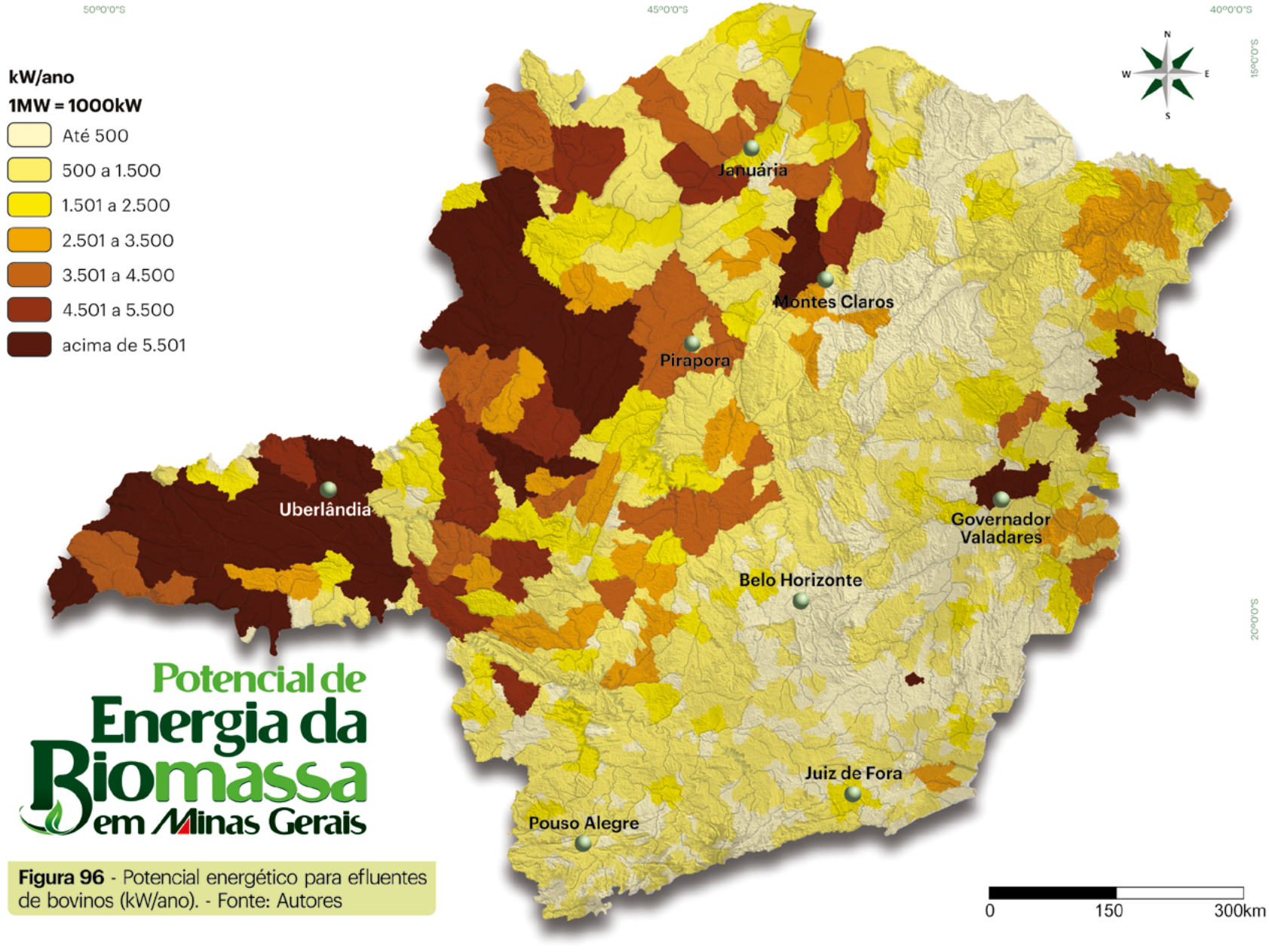


Figura 96 - Potencial energético para efluentes de bovinos (kW/ano). - Fonte: Autores

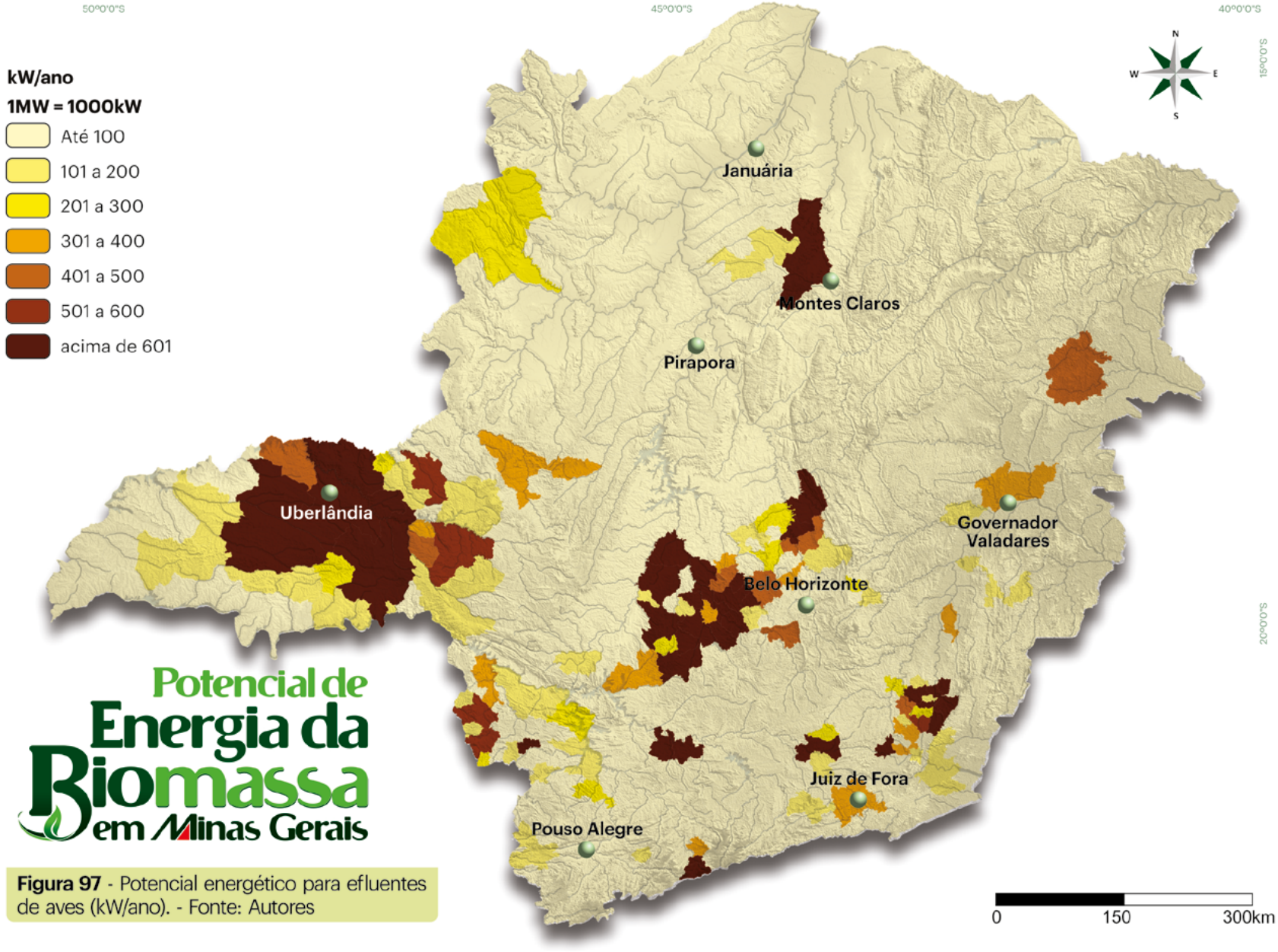


Figura 97 - Potencial energético para efluentes de aves (kW/ano). - Fonte: Autores

4.6 POTENCIAL ENERGÉTICO DO MILHO

Para a estimativa do potencial energético a partir dos resíduos do milho, os valores das produções municipais em Minas Gerais foram obtidos junto ao IBGE, relativo aos anos de 2010 a 2015. A eficiência de conversão para os resíduos adotada foi de 15%, de baixo rendimento termodinâmico - sistemas compostos de caldeira de 20 bar, turbina de condensador atmosférico.

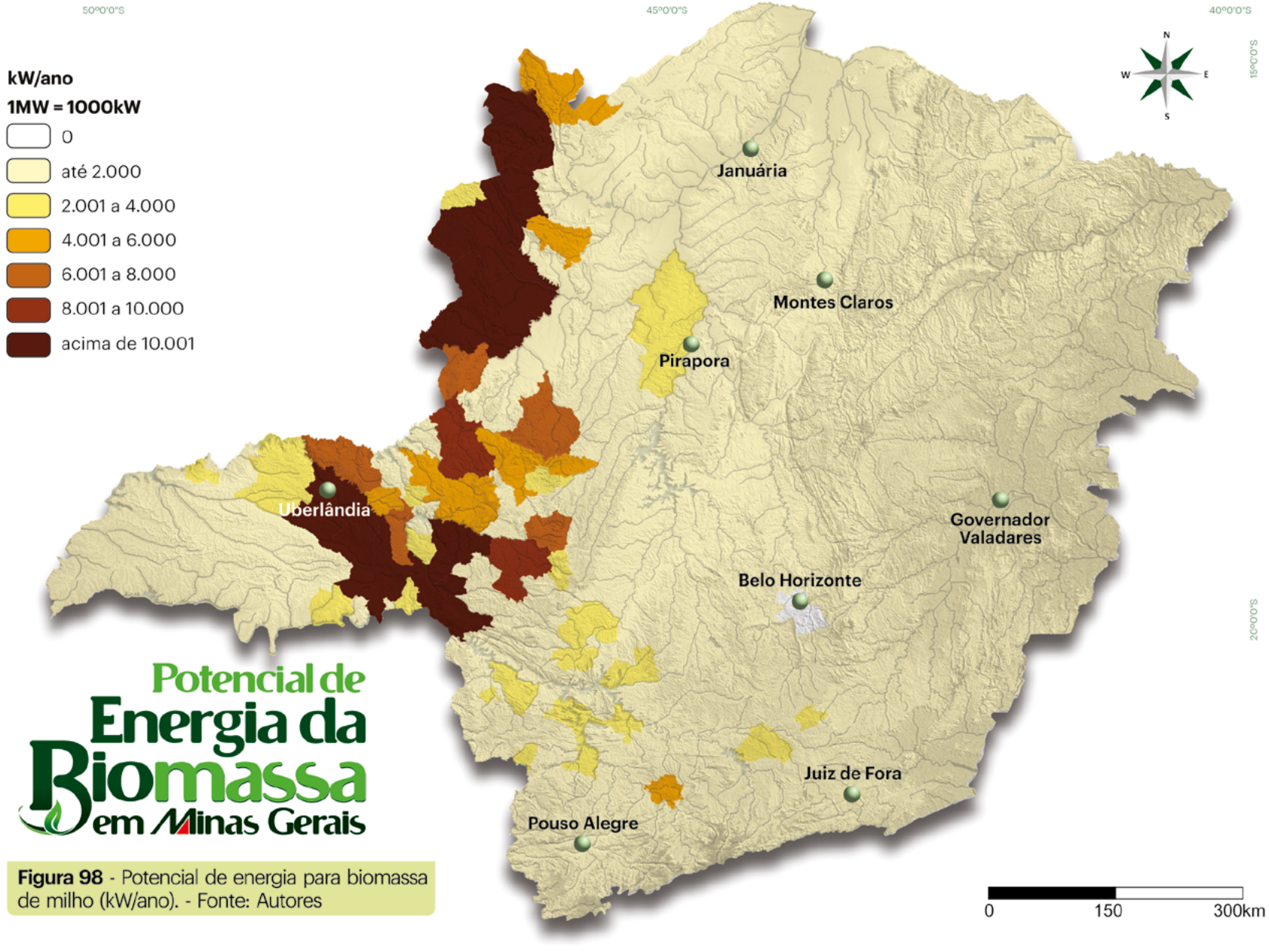
O dado apresentado pelo IBGE é em toneladas de milho produzido, portanto é necessário considerar somente o resíduo gerado que, neste caso, é de 2,2 toneladas de biomassa para cada tonelada de milho (KOOPMANS e KOPPEJAN, 1997). O poder calorífico útil considerado foi de 3.544,9 kcal/kg, com 11% de umidade. Será utilizado um fator de disponibilidade para coleta de 40%, ou seja, o restante deve permanecer no campo para garantir a sustentabilidade do processo. Considera-se que a geração de energia elétrica ocorra em 95% das horas anuais, correspondendo a 8322 horas. A conversão de kcal/kg para kWh/kg se dá pela divisão por 860 (EPE, 2014). O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 17.

Equação 17

$$Potencial_{milho}\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{milho} * F_C * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860}$$

em que,
t_{milho} - produção de milho (toneladas);
F_C fator de conversão de tonelada de milho para tonelada de biomassa = 2.2;
PCU - poder calorífico útil a 11% de umidade = 3.544,9 (kcal/kg);
F_D - fator de disponibilidade para coleta 0,4;
η - eficiência de conversão = 0,15;
8322 - 95% das horas anuais;
860 - conversão de kcal/kg para kWh/kg.

A Figura 98 mostra o potencial energético no estado para a cultura do milho.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 98 - Potencial de energia para biomassa de milho (kW/ano). - Fonte: Autores

4.7 POTENCIAL ENERGÉTICO DA SOJA

Carvalho (1992) apresenta uma relação palhada/peso do grão variando entre 120 a 150%. As palhas se caracterizam pela abundância e baixo custo relativo, embora apresentem baixo valor nutritivo, e teores de proteína, energia e minerais baixos (RESTLE et al, 2000). Devido aos carboidratos estruturais e fração indigerível alta este material possui altos teores de fibra (MARTIN, 1987; NUCCI, 1994).

O potencial energético da palha de soja foi calculado com a metodologia do potencial energético do arroz, adaptada da metodologia CENBIO (2012), conforme Equação 3.

A produção de soja, apresentada pelo IBGE é em toneladas do grão, portanto, é necessário considerar somente o resíduo gerado que, neste caso, é de 1,35 toneladas de biomassa para cada tonelada de soja (EPE, 2014). O poder calorífico útil considerado foi de 3.393,7 kcal/kg, com 11,5% de umidade. Será utilizado um fator de disponibilidade para coleta de 30%, ou seja, o restante deve permanecer no campo para garantir a sustentabilidade do processo. Considera-se que a geração de energia elétrica ocorra em 95% das horas anuais, correspondendo a 8322 horas. A conversão de kcal/kg para kWh/kg se dá pela divisão por 860 (EPE, 2014). O cálculo do potencial a partir desse resíduo foi efetuado pela equação 18

Equação 18

$$Potencial\left(\frac{MW}{ano}\right)_{soja} = \frac{t_{soja} * F_C * PCU * F_D * \eta}{8322 * 860}$$

em que,
t_{soja} - produção de soja (toneladas);
F_C - fator de conversão de tonelada de soja para tonelada de biomassa = 1,35;
PCU - poder calorífico útil a 11,5% de umidade = 3.393,7 (kcal/kg);
F_D - fator de disponibilidade para coleta = 0,3;
η - eficiência de conversão = 0,15;
8322 - 95% das horas anuais;
860 - conversão de kcal/kg para kWh/kg.

A Figura 99 apresenta o potencial energético da palha no estado.

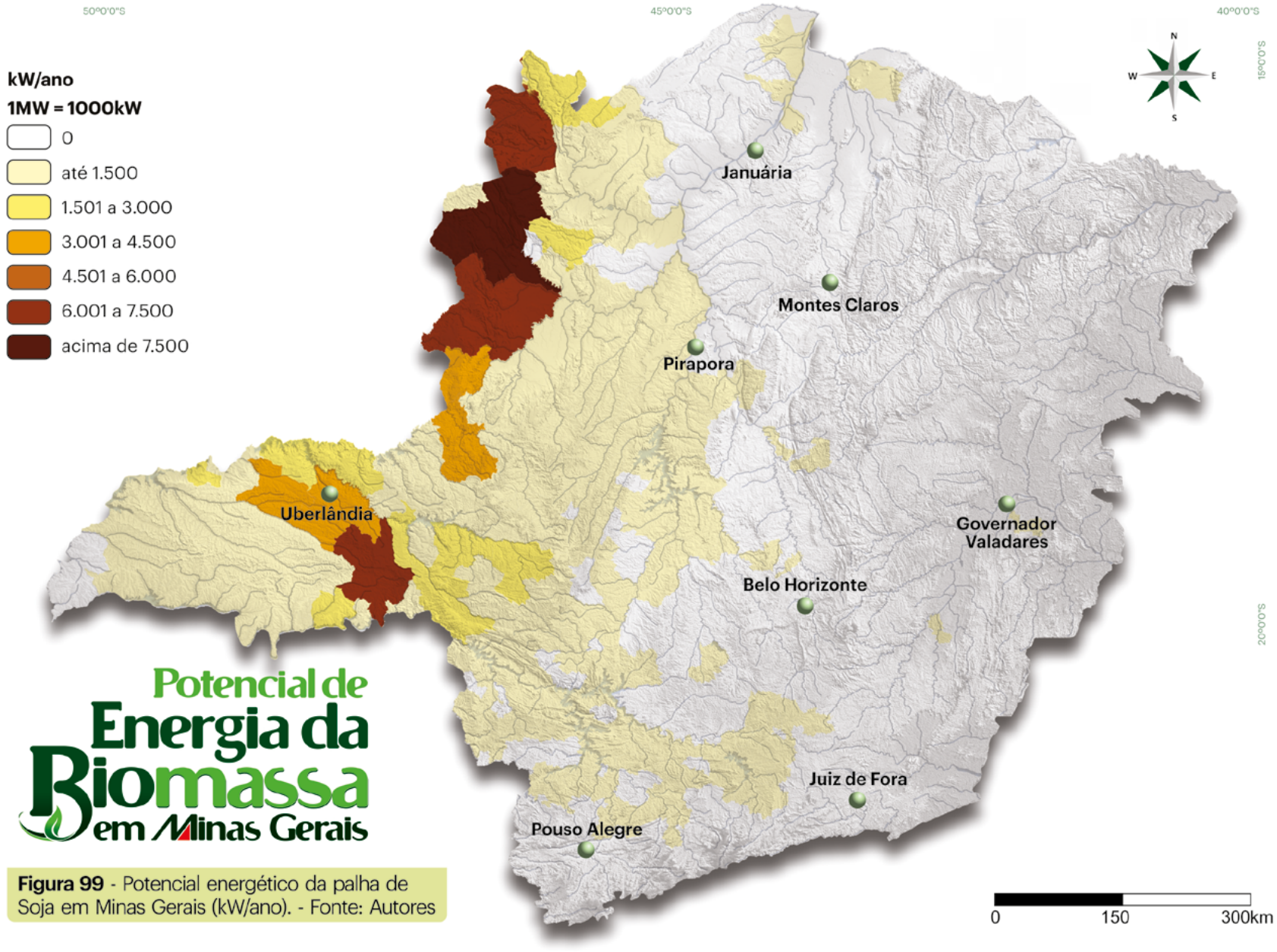


Figura 99 - Potencial energético da palha de Soja em Minas Gerais (kW/ano). - Fonte: Autores

4.8 POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os sistemas de tratamento de RSU podem ser classificados em sistemas mecânicos, biológicos e térmicos (incluindo pirólise, incineração e gaseificação). No entanto, a incineração e o processamento biológico são as duas principais formas de produzir energia elétrica a partir dos RSU. A ênfase será dada nos processos biológicos, forma de tratamento mais usualmente empregada no Brasil e em Minas Gerais. As tecnologias mais conhecidas de tratamento de resíduos com aproveitamento energético são decorrentes da utilização do biogás produzido em reatores anaeróbios ou da captura do mesmo em aterros sanitários. Os microrganismos responsáveis por esse processo transformam os resíduos orgânicos em substâncias mais estáveis na forma de gás, composto por dióxido de carbono (CO_2), água, metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S) e outros componentes, sendo o metano o gás de principal interesse para aproveitamento energético.

O processo biológico responsável pela geração de biogás é chamado de digestão anaeróbia e pode ocorrer no próprio aterro sanitário sob condições de ausência de oxigênio. Em um aterro sanitário, os RSU são dispostos de maneira ambientalmente correta sob critérios de engenharia que minimizam os efeitos deletérios ao ambiente. Assim, a fração orgânica, após a disposição, é coberta por camadas de material inerte, havendo ainda drenos para a coleta dos gases gerados, além da coleta e tratamento dos lixiviados líquido.

A utilização do biogás pode ser objeto de projetos que visem ter como recompensa financeira a comercialização de créditos de carbono em mercados voluntários ou Reduções Certificadas de Emissão do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme previsto no Protocolo de Quioto.

O cálculo do potencial de produção de metano a partir da disposição de resíduos sólidos municipais foi baseado na metodologia recomendada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (IPCC, 1996), mediante a seguinte equação 19:

Equação 19

$$Metano\left(\frac{ton\ CH_4}{ano}\right) = RSU_t * FMC * COD * COD_f * F * \frac{4}{3} - R) * (1 - OX)$$

em que,
RSU_t - total de RSU coletado (tonelada por ano);
FMC - Fator de correção de metano;
COD - Carbono orgânico degradável no RSU (fração);
COD_f - Fração de COD que realmente degrada;
F = Fração de metano no biogás;
R = CH_4 recuperado (ton/ano);
OX = Fator de oxidação.

As demais variáveis da equação 19 são detalhadas a seguir:

- Cálculo do total de RSU coletado (RSUt): valor de RSU coletado por habitante que, segundo ABRELPE (2015), a quantidade coletada para o estado de Minas Gerais foi de 0,838 kg/hab.dia. Para se chegar ao valor total, basta multiplicar pela população do município e o período de 365 dias, correspondendo ao valor anual.
- Cálculo do Fator de Correção de Metano (FCM): o IPCC recomenda valores de FCM de acordo com a profundidade do local de disposição de resíduos sólidos. Um desses valores é 60% para os locais sem classificação. Uma vez que não se conhece a profundidade dos locais de disposição de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais, será utilizado o valor de 60% para todos os municípios.
- Cálculo do Carbono Orgânico Degradável (COD): o valor do carbono orgânico degradável utilizado nesse panorama foi o sugerido pelo IPCC, igual a 12%, valor que não leva em consideração a composição de resíduos no estado, pois os dados de composição, nas diferentes cidades de Minas Gerais, são escassos.
- Cálculo da fração de COD que Realmente Degrada (CODf): foi utilizado nesse panorama, conforme recomendado pelo IPCC (1996), o valor de 77%, correspondente à fração de COD que realmente degrada.
- Cálculo da Fração de Metano no Biogás (F): o IPCC recomenda que se considere a fração de gás metano no biogás de aterro da ordem de 50%.
- Cálculo da Quantidade de Metano Recuperado (R): a quantidade de metano recuperado é considerada insignificante.
- Cálculo do Fator de Oxidação (OX): o fator de oxidação é considerado zero.

É necessário salientar que a geração de metano a partir da disposição de resíduos sólidos sofre variações ao longo do tempo, conforme aumenta-se ou diminui-se a disposição de matéria orgânica. Sendo assim, a equação 19 refere-se ao potencial de metano gerado ao longo de um ano de disposição, não considerando o metano que possa já estar sendo emitido a partir do resíduo depositado anteriormente. A quantidade de metano emitida poderá aumentar conforme o aumento da quantidade de RSU no aterro com o passar do tempo, pois a curva de geração de metano tem um comportamento crescente durante o período em que o aterro recebe os resíduos. A cada nova tonelada de lixo depositada, soma-se um novo potencial de geração de biogás. O ponto máximo da curva ocorre no último ano de disposição do lixo no aterro e a partir daí a curva é regida pela constante de decaimento, referente à degradação da matéria orgânica no tempo (CENBIO, 2012).

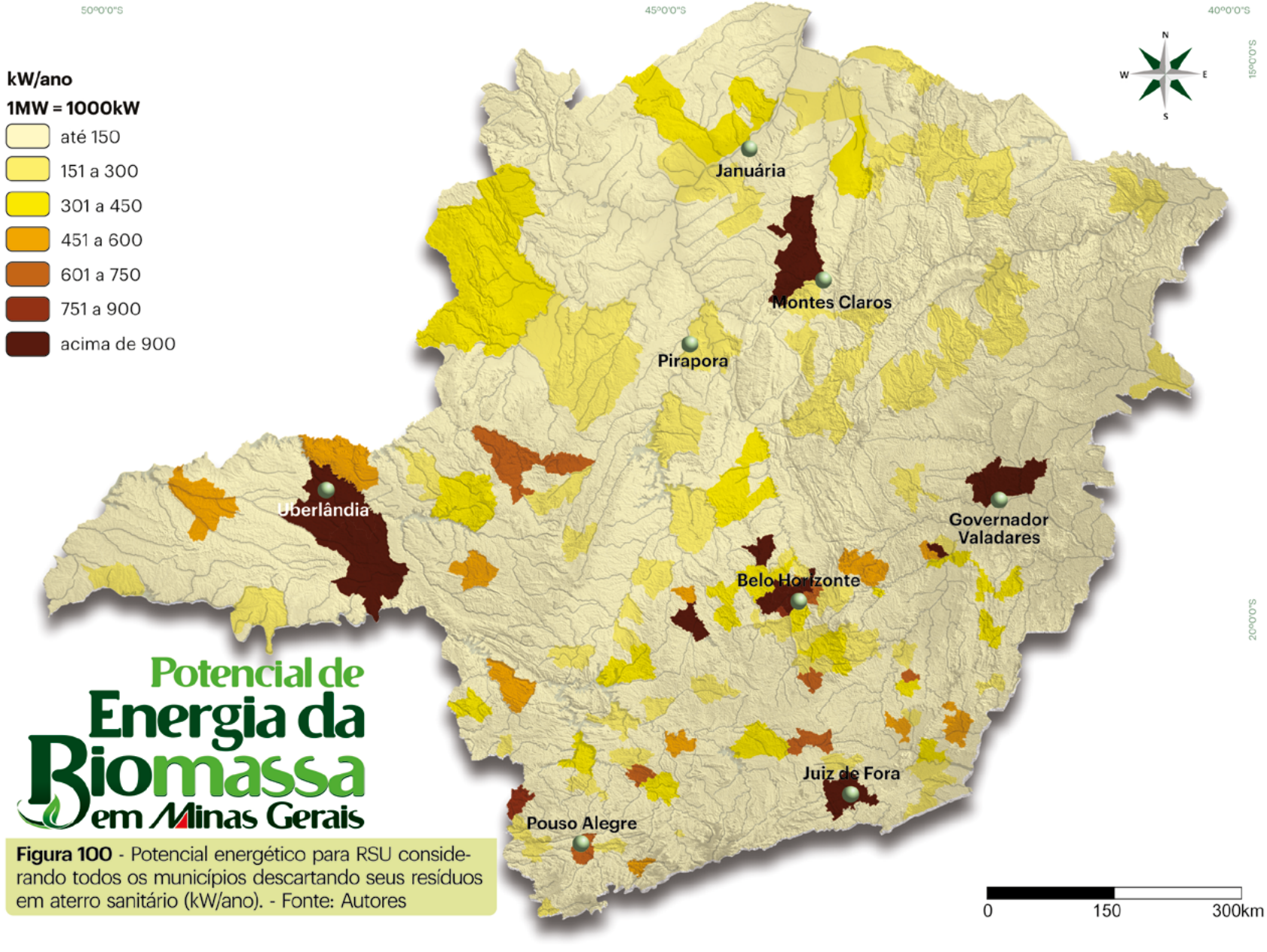
Considerando o poder calorífico inferior (PCI) do gás metano 8.604 kcal/m³, podemos estimar o potencial energético dos RSU destinados em aterros sanitários. O biogás pode ser queimado na atmosfera ou ter aproveitamento energético. Queimando esse gás é possível converter, a partir de ciclo de potência, o calor gerado pela queima do mesmo em energia elétrica, como demonstrado pela equação 20.

Equação 20

$$Potencial\ RSU\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{metano}*1.000*PCI*\eta}{\rho*8322*860}$$

em que,
t_{metano} - quantidade de metano gerada no ano, obtida na Equação 1 (tonelada);
1.000 - Conversão de tonelada para kg;
PCI - Poder calórico inferior = 8.604 kcal/m³;
η - Eficiência de conversão = 0,28;
ρ - Densidade do metano = 0,74 kg/m³;
8760 = considera-se funcionamento durante todo o ano;
860 = fator de conversão de kcal/kg para kWh/kg.

A Figura 100 apresenta o potencial de energia elétrica gerado a partir do RSU, considerando todos os municípios de Minas Gerais possuindo aterro sanitário. Como é previsto pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/10, em que os municípios devem realizar uma disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 100 - Potencial energético para RSU considerando todos os municípios descartando seus resíduos em aterro sanitário (kW/ano). - Fonte: Autores

4.9 POTENCIAL ENERGÉTICO DOS VEGETAIS LENHOSOS

Além do carvão vegetal e seus co-produtos, Minas Gerais também apresenta um grande potencial para geração de energia térmica e elétrica a partir da madeira de eucalipto, conforme reportado no estudo realizado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em 2014, em parceria com o Governo de Minas Gerais. Neste estudo estimou-se os potenciais teóricos e técnicos do Eucalipto para a geração de energia. Para o potencial teórico, considerou-se toda área plantada de Eucalipto no estado de Minas Gerais, em 2012, como sendo fonte de energia fisicamente disponível, enquanto para o estudo do potencial técnico foram utilizados dados como eficiência de conversão, ciclo de corte e incremento médio dos gêneros de Eucalipto a cada ano. O resultado do estudo obteve um valor de 515.938,8 Gwh para o potencial energético teórico e 3.682,35 Gwh para o potencial energético técnico.

Considerando os dados consolidados de área total ocupada com floresta de eucalipto (1,4 milhões de hectares) em 2015, estima-se um potencial teórico e técnico no estado de Minas Gerais de aproximadamente 501.965,86, e 3.582,62, conforme apresentado na Tabela 44.

Potencial energético (GWh) das florestas de Eucalipto no estado de Minas Gerais - 2016	
Teórico	501.965,86
Técnico	3.582,62

Tabela 44 - Potencial energético (GWh) das florestas de Eucalipto no estado de Minas Gerais - 2016. - Fonte: Autores

A geração de energia a partir de resíduos madeireiro é uma alternativa atrativa para viabilizar os projetos a partir de biomassa. Na Figura 101 é apresentado o potencial energético do resíduo da tora da madeira de eucalipto considerando dois cenários, ou seja, o cálculo do potencial teórico para geração de energia levando em conta o sistema convencional de turbina a vapor com dois rendimentos: de pequeno porte, 15% de eficiência (potenciais entre 200 kW/ano e 10 MW/ano) e médio porte de 30% de eficiência (potenciais maiores do que 10 MW/ano).

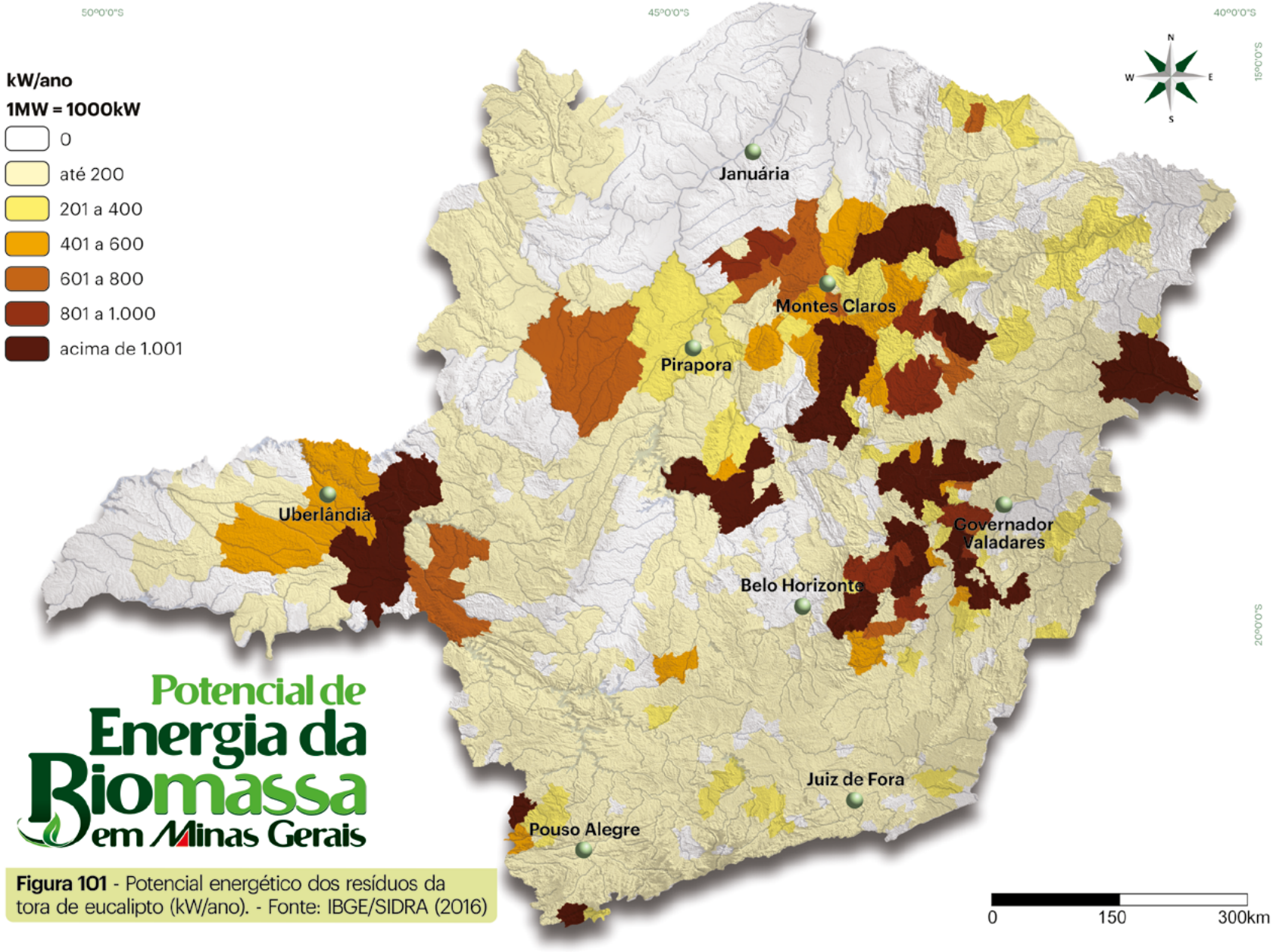
Para as estimativas dos potenciais considerou-se um teor de umidade de 25%, poder calorífico útil de 3.017,3 Kcal/Kg e 500 kg/m³ para a densidade aparente. A conversão de kcal/kg para kWh/kg foi dada pela divisão por 860 (EQUAÇÃO 21). Também, considerou-se, um rendimento na serraria de 50%, ou seja, tem-se a geração de 50% de resíduos, conforme dados estabelecidos pelo IBGE que correspondem à madeira em tora já processada, logo o resíduo é o resultante de seu processamento. A fase anterior de campo e moveleira não foram consideradas por se tratarem de locais distantes e indefinidos.

Em ambos os cenários foram considerados que o sistema opere durante todo o ano, por meio dos resíduos gerados e que a operação ocorra em 95% das horas anuais, 8322 horas de operação por ano.

Equação 21

$$Potencial_{tora\ de\ eucalipto}\left(\frac{MW}{ano}\right) = \frac{t_{eucalipto} * F_C * PCU * \eta * \rho}{8322 * 860}$$

em que,
$t_{eucalipto}$ - produção de eucalipto (m³);
F_C - fator de conversão de tonelada de eucalipto para tonelada de biomassa = para madeira em tora = 0,5 para florestas energéticas = 1.
PCU - poder calorífico útil a 25% de umidade = 3.017,7 (kcal/kg);
η - eficiência de conversão, para potenciais acima de 200kW/ano e menores que 10 MW/ano = 15.
Para potenciais maiores do que 10MW/ano = 0,3;
ρ - densidade eucalipto = 0,5 tonelada/m³;
8.322 - 95% das horas anuais;
860 - conversão de kcal/kg para kWh/kg.



Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

Figura 101 - Potencial energético dos resíduos da tora de eucalipto (kW/ano). - Fonte: IBGE/SIDRA (2016)

POTENCIAL INSTALADO

Segundo dados do banco de informações da ANEEL (2017) a biomassa florestal correspondeu por aproximadamente 1,92% do total de energia elétrica gerada no ano de 2015. Essa energia provem do carvão vegetal, gás de alto forno, lenha, licor negro, e resíduos florestais, de um total de 88 usinas gerando 3.048.673 kw.

A capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir de biomassa no ano de 2015 foi de 13.257,00 MW, e deste 51 MW foram do carvão vegetal, 112 MW de gás de alto forno, 1.923 MW do licor negro e 400 MW de resíduos florestais (BEN, 2016).

Ainda segundo dados do banco de informações da ANEEL (2017) o estado de Minas Gerais possui atualmente 421 usinas termoelétrica em operação gerando 15,27% do total de energia gerada no estado, e destas 3 são a carvão vegetal, 7 a gás de alto forno (biomassa) e 4 a gás de alto forno (CM). A potência total das termoelétricas está em torno de 2.412.666 kW. A Tabela 45 mostra as usinas termoelétricas, carvão vegetal, em operação em Minas Gerais.

Usina	Data Operação	Potência Fiscalizada [kW]	Destino da Energia	Proprietário	Município	Fonte
Barreiro	21-01-2004	12.900	PIE	100% para Usina Termelétrica Barreiro S.A	Belo Horizonte MG	Carvão vegetal
Usipar Indústria e Comercio	02-01-2007	4.997	REG	100% para Usipar Indústria e Com. Ltda - EPP	Pitangui MG	Carvão Vegetal
AVG I-II	01-09-2009	4.800	REG	100% para AVG Energética S.A.	Sete Lagoas MG	Carvão Vegetal

Tabela 45 - Usinas termoelétricas, carvão vegetal, em operação em Minas Gerais
Fonte: ANEEL (2017)

5

ESTUDO DE CASO

Delly Oliveira Filho

Adriano da Silva Antônio

Carolina Fernandes Carvalho

Fabiana Campos Resende

5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do país. Vale lembrar que a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento (MME, 2014).

No Brasil, utiliza-se preferencialmente a energia oriunda das hidrelétricas, mas nem sempre estas podem gerar a demanda energética necessária para suprir todas as nossas carências. Portanto, não podemos negar que as termelétricas possuem um papel importante na geração de energia, complementando a energia vinda das hidrelétricas, quando estas passam por momentos de baixa de produção, como em períodos de estiagens.

Uma usina termelétrica produz energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis ou por outras fontes de calor, como, por exemplo, a fissão nuclear ou resíduos de biomassas. O combustível que será consumido será armazenado em parques ou depósitos próximos às usinas. A fonte de calor oriunda da queima dos combustíveis é responsável pelo aquecimento de uma caldeira cheia d'água, gerando vapor em alta pressão. Consequentemente, o vapor sob alta pressão e temperatura, se expande e movimenta as pás da turbina do gerador, produzindo a energia elétrica final (FURNAS, 2017).

Após o vapor d'água ter movimentado as turbinas, ele é enviado a um condensador para ser resfriado e, logo em seguida, transformado em água líquida para ser reenviado à caldeira, iniciando um novo ciclo, como apresentado na Figura 102.

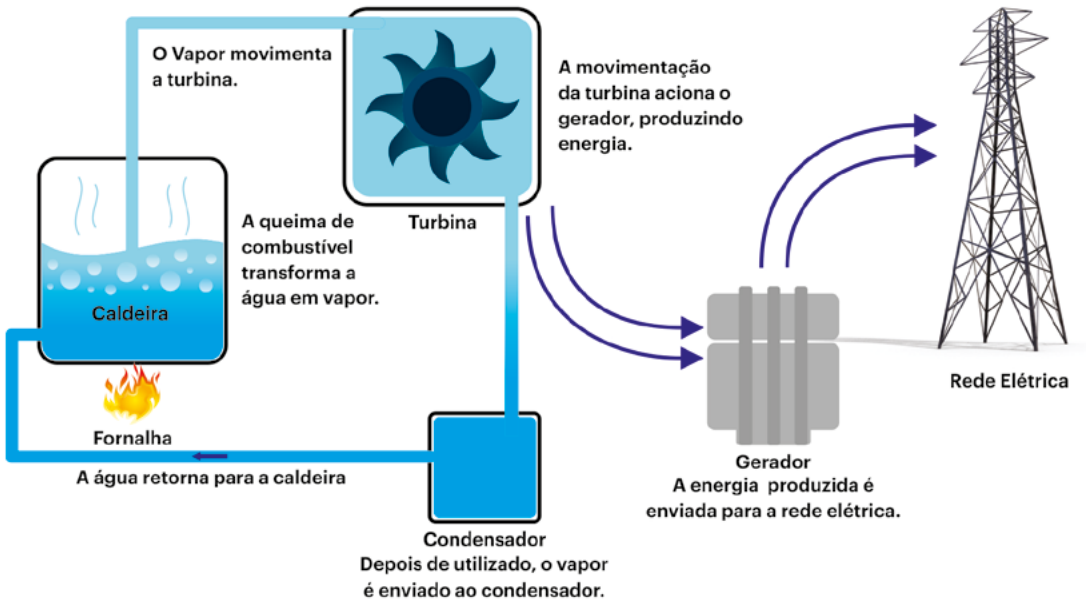


Figura 102 – Esquema representativo de uma usina termelétrica a vapor d'água.
Fonte: (Energia CPE, 2017).

Assim, a energia gerada é transportada por linhas de alta tensão até os centros de consumo ou para uma unidade consumidora próximo ao local de geração, como por exemplo uma indústria (FURNAS, 2017).

Em comparação com as usinas hidrelétricas, as termelétricas são mais rápidas de se construir, e conforme Braciani, "... isso se deve as características técnicas e econômicas desse tipo de empreendimento, disponibilidade de combustíveis e o menor valor de implantação" (BRACIANI, 2011, p. 60).

Podendo assim suprir carências de energia de forma mais rápida. Além disso, as termelétricas podem ser construídas próximas a centros urbanos, diminuindo as linhas de transmissões, o que resulta em um menor desperdício de energia.

5.2 OBJETIVOS

Este trabalho visa avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas em regiões e na capital do estado de Minas Gerais, pelas seguintes fontes de biomassa: cana-de-açúcar, eucalipto e podas da arborização urbana.

Inicialmente, serão apresentados resultados da viabilidade dos empreendimentos de forma generalizada, independentemente do local de geração, para então comparar os resultados encontrados com o que é disponível de fonte energética no estado de Minas Gerais.

5.3 METODOLOGIA

5.3.1 COLETA DE DADOS

Esta pesquisa coletou dados da produção da cana-de-açúcar e eucalipto em 12 mesorregiões do estado de Minas Gerais. Para a cana-de-açúcar, foi adotada a média da produção registrada de 2010 à 2015, por ano, como foi fornecido pela Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais.

Para o eucalipto, foi adotada a produção registrada referente ao ano de 2015 e de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). Já o dado coletado sobre os resíduos da poda da arborização urbana na cidade de Belo Horizonte - MG, foi disponibilizado pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte, isso para o ano de 2015 (PMGIRS - BH, 2016).

Nº	Mesoregião Nome	Quantidade Produzida Toneladas
1	Noroeste de Minas	4.862.745
2	Norte de Minas	735.912
3	Jequitinhonha	-
4	Vale do Mucuri - MG	442.097
5	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	47.587.224
6	Central Mineira	2.910.136
7	Metropolitana de Belo Horizonte	46.168
8	Vale do Rio Doce	-
9	Oeste de Minas	1.452.119
10	Sul/Sudoeste de Minas	4.437.222
11	Campo das Vertentes	-
12	Zona da Mata	1.285.354
Minas Gerais		**63.758.977**

Tabela 46 - Média da produção da biomassa de cana de açúcar em Minas Gerais por mesorregião de 2010 à 2015.

Nº	Mesoregião Nome	Quantidade Produzida m^3/ano	t/ano
1	Noroeste de Minas	136.090	50.898
2	Norte de Minas	1.788.971	669.075
3	Jequitinhonha	1.814.701	678.698
4	Vale do Mucuri - MG	387.649	144.981
5	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	1.543.843	577.397
6	Central Mineira	915.726	342.482
7	Metropolitana de Belo Horizonte	1.381.859	516.815
8	Vale do Rio Doce	2.957.800	1.106.217
9	Oeste de Minas	179.919	67.290
10	Sul/Sudoeste de Minas	739.609	276.614
11	Campo das Vertentes	52.021	19.456
12	Zona da Mata	429. 488	160.629
Minas Gerais		**11.898.188**	**4.610.552**

Tabela 47 - Produção da biomassa do eucalipto em Minas Gerais por mesorregião.

Cidade	Quantidade Produzida
	Toneladas/ano
Belo Horizonte	19.067,41

Tabela 48 - Produção de resíduos de podas da arborização urbana do município de Belo Horizonte – MG

5.3.2 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O potencial médio de geração de energia elétrica pode ser estimado em função de diferentes metodologias. Neste trabalho, serão utilizadas as metodologias definidas pelo Atlas de Bioenergia do Brasil (CENBIO, 2012), como descritos a seguir.

CANA DE AÇÚCAR

De acordo com o Atlas da CENBIO 2012, foram propostos três Cenários para o cálculo do potencial a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, onde cada tonelada da biomassa, pós colheita e sem processamento, tem como potencial:

• Cenários 1 e 2: a geração de 30 kWh e 60 kWh, respectivamente, considerando que apenas o bagaço da biomassa será utilizado para geração de energia elétrica, ou seja, apenas 28% da massa da cana-de-açúcar (FEAM, 2014).

• Cenário 3: Cada tonelada de cana-de-açúcar tem o potencial de gerar 120 kWh, onde são utilizados além do bagaço, a palha e as pontas, resultantes da colheita da cana crua, o que representa 48% de toda a massa da biomassa (Souza, 2012).

Cenário 1 – 30 kWh por tonelada de cana de açúcar:

Neste primeiro cenário, considera-se que o sistema de geração de energia elétrica, a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, opere somente durante a safra, de abril a novembro, resultando em 5.563 horas de operação por ano.

Portanto, para se determinar o potencial de geração de energia elétrica média, durante um ano, será utilizada a equação 9.

Cenário 2 – 60 kWh por tonelada de cana de açúcar:

Neste cenário, considera-se que o sistema de geração de energia elétrica, também opere somente durante a safra, de abril a novembro, variando-se apenas o potencial de geração de energia elétrica para uma tonelada da biomassa, de 30 para 60 kWh por tonelada de cana-de-açúcar, como foi apresentado no Cenário 1.

Portanto, para se determinar o potencial de geração de energia elétrica média, durante um ano, no segundo cenário, será utilizada a equação 10.

Cenário 3 – 120 kWh por tonelada de cana de açúcar:

Neste cenário, considera-se que o sistema de geração de energia elétrica, opere durante todo o ano e durante 95% das horas anuais, ou seja, durante 8.322 horas/ano.

Portanto, para se determinar o potencial de geração de energia elétrica média, durante um ano, para o cenário 3, será utilizada a equação 11.

EUCALIPTO

Para o cálculo do potencial de energia através do eucalipto, foi utilizado a metodologia descrita no item 3.9.

ARBORIZAÇÃO URBANA

Para o cálculo do potencial de geração de energia elétrica para os resíduos da poda da arborização urbana no município de Belo Horizonte – MG, a metodologia adotada foi semelhante ao que foi utilizado para o eucalipto, no item 3.9, variando-se o poder calorífero útil adotado que foi igual a 13.200,47 kJ/kg (3.156,8 kcal/kg), para uma umidade do resíduo igual a 30% (SOUZA, 2014) e que toda biomassa será utilizada para a geração de energia elétrica.

5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

5.4.1 RECEITA FINANCEIRA

A receita resultante da implantação do projeto é a venda de energia elétrica para os sistemas de transmissões e distribuições das concessionárias de energia. Para este trabalho, foi utilizado os valores estipulados nos últimos leilões de energia elétrica e que foram promovidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como descritos a seguir:

Para o caso da geração de energia elétrica, a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, o último leilão registrado de janeiro de 2016, determinou que o MWh de energia será vendido por R$ 217,18 para a usina UTE WD do estado de Minas Gerais (ANEEL, 2016).

Já para o caso da geração de energia elétrica a partir dos resíduos da madeira (eucalipto e resíduos da poda da arborização urbana), o último leilão registrado, também de janeiro de 2016, determinou que o MWh de energia será vendido por R$ 243,21 para a usina UTE Onça Pintada, que está localizada no estado de Mato Grosso do Sul (ANEEL, 2016).

5.4.2 INVESTIMENTOS INICIAS

Os investimentos necessários para a implantação do projeto são a aquisição dos equipamentos de geração e obras civis. Em consulta a Solidda Energia em fevereiro de 2017, ela orientou que para efeitos de pesquisa, os investimentos iniciais para construção de usinas termelétricas são na ordem de R$ 6.000.000,00 por MW até o potencial de 1 MW médio de geração, podendo reduzir a até R$ 3.500.000,00 por MW médio de geração, no caso de uma usina com potencial médio de geração de 30 MW.

Simplificando, os investimentos iniciais podem ser calculados pelas equações 22 e 23:

• Investimentos iniciais para usinas com potencial médio de até 1 MW de geração de energia elétrica em milhões de reais:

Equação 22

$$\text{Investimentos Iniciais (R\$)} = 6\ P_{médio}$$

• Investimentos iniciais para usinas com potencial médio maior que 1 MW de geração de energia elétrica em milhões de reais:

Equação 23

$$\text{Investimentos Iniciais (R\$)} = \frac{99\ P_{médio} + 75}{29}$$

5.4.3 CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais para o funcionamento das usinas termelétricas são os gastos com mão de obra e manutenção dos equipamentos. Na consulta realizada junto a Solidda Energia, a mesma também informou que estes valores podem chegar a 1,5% dos gastos com o investimento inicial por ano para as grandes usinas termelétricas, como é o caso das que utilizam como fonte de energia a cana-de-açúcar, o eucalipto e usinas com potencial maior que 1 MW que utilizam resíduos da poda da arborização urbana.

Para o caso da usina termelétrica que utiliza resíduos da poda das árvores, com potencial médio menor que 1 MW, os custos operacionais foram baseados nos custos de pagamento de três funcionários, nos quais recebem 1 salário mínimo cada, que hoje está no valor de R$ 937,00/mês, acrescido de 60%, referente aos custos com pagamentos de direitos trabalhistas e impostos, além do 13º salário.

Portanto, ao ano, os custos operacionais com mão de obra, para o caso das usinas que utilizam restos das podas de árvores, está em torno de R$ 57.625,50. A este valor será acrescentado 1,5% do investimento inicial para a manutenção dos equipamentos.

Os custos anuais dos três sistemas também foram determinados considerando-se os custos fixos referentes à depreciação e os custos de imobilização do capital. O método de depreciação utilizado foi o da depreciação estabelecido em (ANEEL, 1999), onde os equipamentos de geração se desvalorizam em 3,3% ao ano, em um total de 20 anos, que é o tempo de vida útil dos equipamentos de geração.

5.4.4 CUSTOS PARA OBTENÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Para a obtenção dos combustíveis para a geração de energia elétrica, é necessário que o investidor compre os resíduos das biomassa, caso não esteja disponível. Para isso, foi considerado os seguintes custos para o investidor:

• Custos com a cana-de-açúcar: R$ 25,00 por tonelada do resíduo da cana de açúcar (Usina Lins S/A, 2017);

• Custos com eucalipto: R$ 40,00 por metro cúbico da biomassa, já processada para a queima na fornalha (CI FLORESTAS, 2013); e

• Custos com os resíduos das podas da arborização urbana: R$ 30,00 por tonelada do resíduo. O preço adotado é o mesmo que a Prefeitura de Belo Horizonte paga para despejar os resíduos na Central de Tratamento de Resíduos de Maquiné, ou eventualmente, na Central de Tratamento de Resíduos de Macaúbas (PBH, 2017).

5.4.5 FLUXO DE CAIXA

O fluxo de caixa anual do empreendimento, é definido como a diferença das receitas financeiras de entrada, onde se enquadram a venda de energia e valor residual ou preço de venda dos equipamentos de geração no final de sua vida útil, já as receitas financeiras de saída, se enquadram o investimento inicial, custos com mão de obra e manutenção dos equipamentos, custos da biomassa e depreciação dos equipamentos de geração.

5.4.6 INDICADORES ECONÔMICOS

Estabelecidos os custos e benefícios do sistema, foram determinados o fluxo de caixa anual do projeto e a análise de viabilidade econômica por meio dos seguintes indicadores: Valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício-custo (RBC), receita líquida total no final de 20 anos (RLT) e tempo de recuperação do capital, descontado a taxa mínima de atratividade (TMA) ou não.

VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é um indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto durante seu período de vida útil. O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos custos ou desembolsos, que foi calculado utilizando-se da equação 24 (CERVI, ESPERANCINI, & BUENO, 2010).

Equação 24

$$VPL\ (R\$) = \sum_{t=0}^{n} \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

em que:
FC^t = Fluxo de caixa no ano t (R$);
^{t} = ano correspondente ao fluxo de caixa (ano);
^{i}= taxa mínima de atratividade (%);
^{n}= tempo de vida útil do projeto (20 anos).

O VPL representa, em valores monetários presentes, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à TMA, sendo neste trabalho adotado o valor de 6,5%, que representa o teto da meta estipulada pelo governo federal do Brasil, em relação a inflação anual no país.

TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A TIR corresponde à taxa de juros capaz de zerar o VPL do investimento, que é calculada por meio da equação 25.

Equação 25

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

Os projetos e investimentos que apresentam TIR maior que a TMA são considerados viáveis (CERVI, ESPERANCINI, & BUENO, 2010).

RELAÇÃO BENEFÍCIO CUSTO (RBC)

A Relação benefício custo (RBC) é calculada por meio da equação 26. É um indicador que representa o retorno proporcionado para cada unidade de capital investido, para que o investimento seja viável, a RBC deve ser obrigatoriamente maior que 1 (CERVI, ESPERANCINI, & BUENO, 2010).

Equação 26

$$RBC = \frac{\sum_0^n B_t}{\sum_0^n C_t}$$

Em que:
B^t=Benefício do projeto no ano t (R$);
C^t=custo do projeto no ano t (R$).

TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL (TRC)

O tempo de recuperação do capital é dividido em dois tipos:

• Payback Time ou Payback Simples (PBS), que consiste essencialmente em determinar o tempo necessário para que o somatório do fluxo de caixa seja igual ao investimento inicial.

• Já o Payback descontado ou Payback econômico (PBE), considera que o somatório do fluxo de caixa é descontado a uma taxa mínima de atratividade, seja, no mínimo, igual ao investimento inicial (CERVI, ESPERANCINI, & BUENO, 2010). O PBE determina o tempo necessário para recuperar o capital investido.

RECEITA LÍQUIDA TOTAL (RLT)

A Receita Líquida Total corresponde ao total de entradas menos o total de saídas no decorrer de todo o tempo analisado, para um determinado investimento. A receita líquida total não leva em consideração a taxa de juros do mercado, portanto, ao comparar este indicador com o VPL, tem-se uma noção da desvalorização da moeda.

5.5 RESULTADOS

Para a realização da análise de viabilidade dos empreendimentos, foi desenvolvido no MatLab um código no qual se determina todos os parâmetros anteriores, em função da quantidade de biomassa disponível para a geração de energia elétrica, como se segue abaixo:

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA

CENÁRIO 1

Para o Cenário 1, onde é considerado que cada tonelada da cana-de-açúcar tem o potencial de gerar 30 kWh, foi encontrado os resultados da Figura 103 para o potencial médio de geração da usina termelétrica.

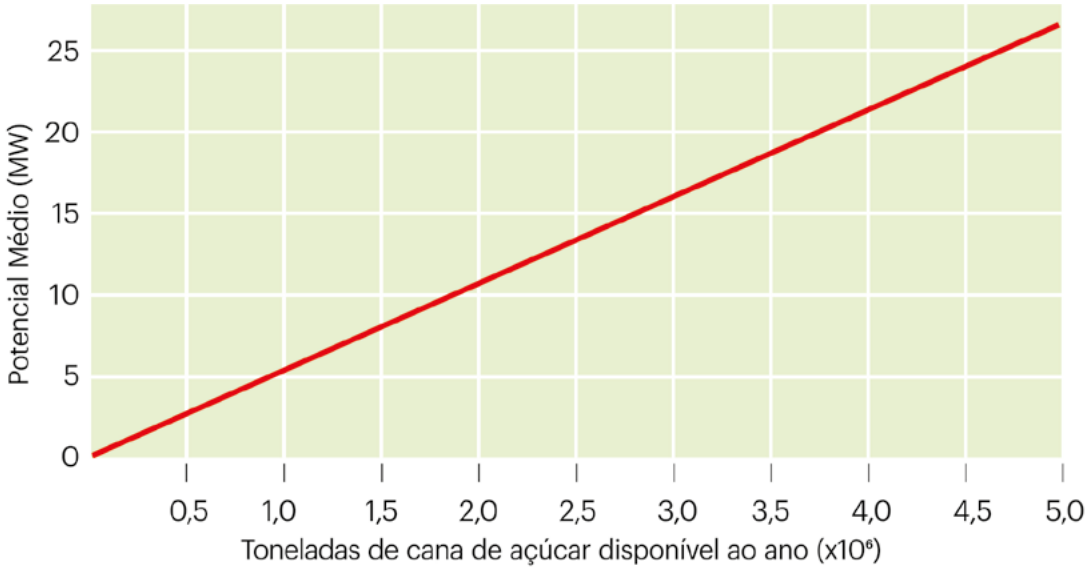


Figura 103 - Potencial médio de geração de energia elétrica.

Observa-se pela Figura 103, que a relação de quantidade combustível ou resíduos da cana-de-açúcar é diretamente proporcional ao potencial médio de geração de energia elétrica. Nota-se também, que a simulação realizada, contemplou valores entre 0 e 5 Mega toneladas de cana-de-açúcar de disponibilidade ao ano, o que fornece o potencial máximo e médio de geração de energia elétrica de 26,96 MW.

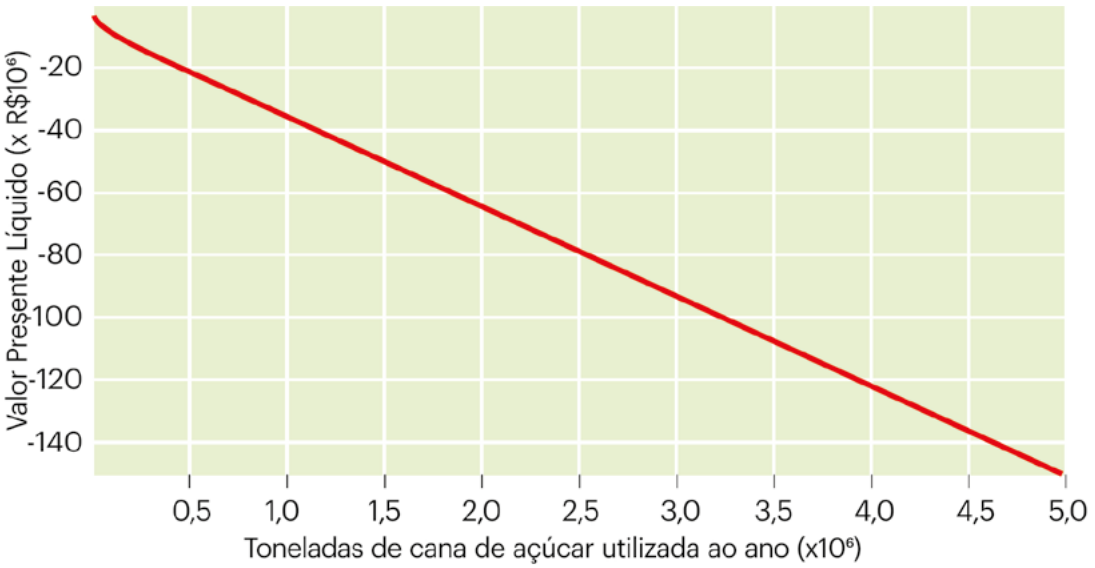


Figura 104 - Valor presente líquido estimado no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Na Figura 104, nota-se que independentemente do tamanho da usina termelétrica (UTE) e da quantidade de combustível disponível, o investimento é sempre inviável, para as condições adotadas, pois o VPL sempre foi menor que zero.

Portanto, devido a inviabilidade anterior para este cenário, espera-se que a TIR seja sempre menor que a TMA adotada, como é apresentada na Figura 105.

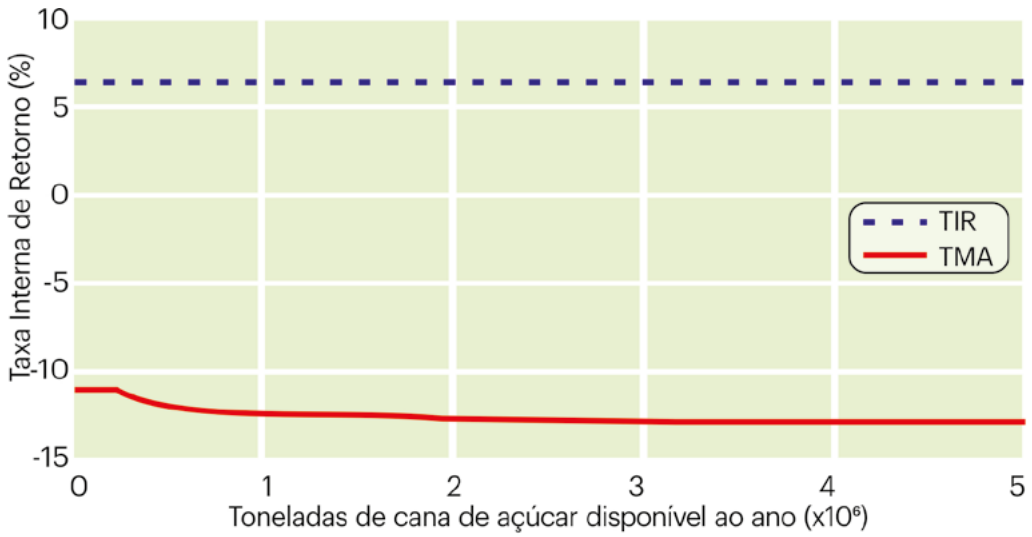


Figura 105 - Taxa interna de retorno estimada no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Como esperado, a TIR sempre foi menor que a TMA, além disso, ela sempre foi negativa, o que implica a receita líquida total ser sempre menor que zero, podendo o investimento então gerar prejuízos de até R$ 180 milhões, como apresentado na Figura 106.

Para finalizar, além do investimento ser sempre inviável, a relação benefício custo sempre foi menor que 1, como apresentado na Figura 107.

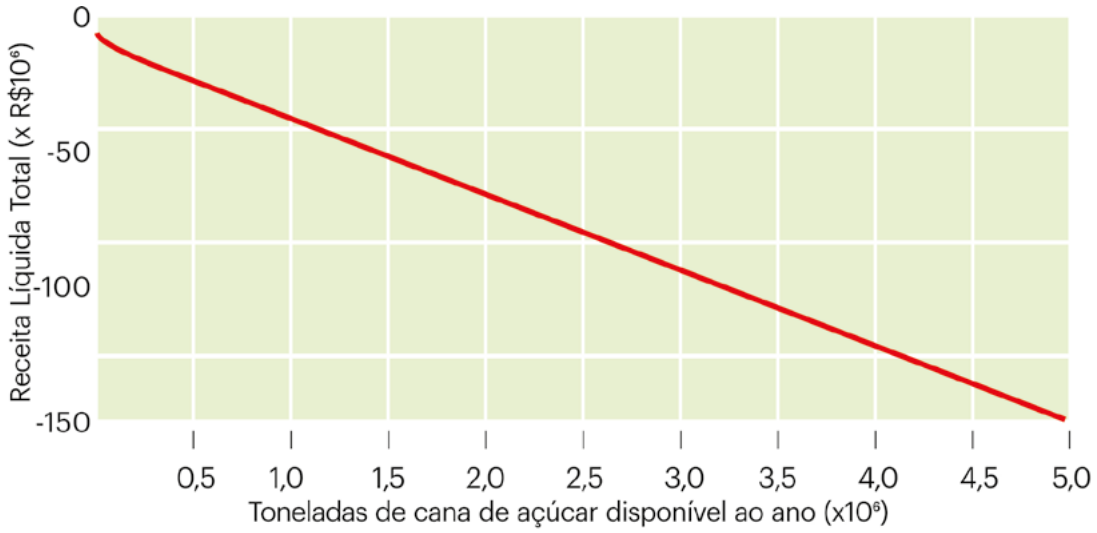


Figura 106 - Receita líquida total estimada no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Nota-se na Figura 107, que o investimento na geração de energia elétrica, seguindo as condições adotadas do Cenário 1, produz ao investidor, prejuízos variando entre aproximadamente R$ 0,20 e R$ 0,25 para cada R$ 1,00 investido.

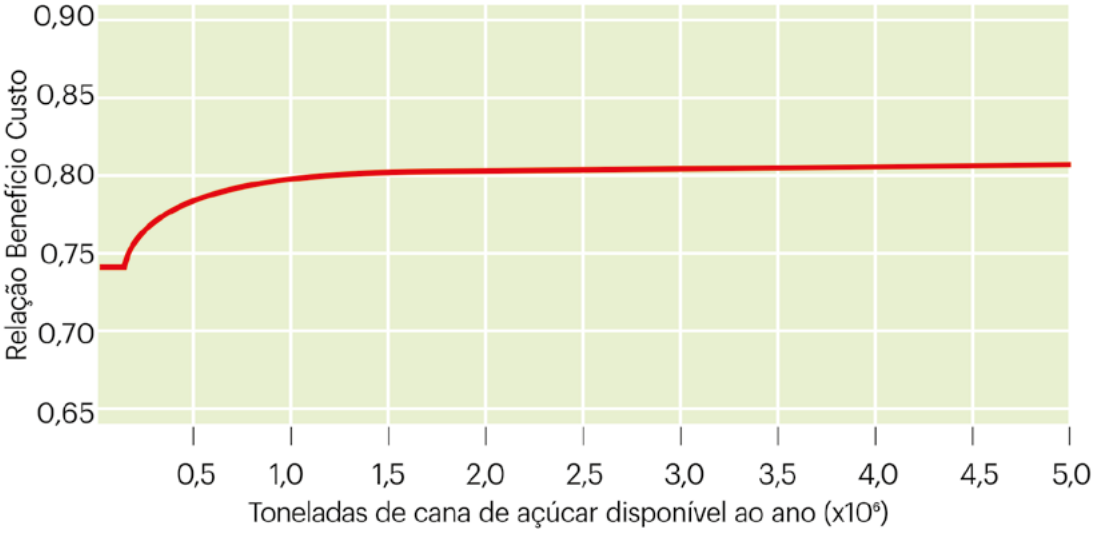


Figura 107 - Relação benefício - custo estimada no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Portanto, para este cenário, o tempo de retorno de capital, seja ele simples (PBS) ou descontado (PBE), nunca será atingido dentro dos 20 anos de funcionamento dos equipamentos de geração de energia elétrica.

Portanto, para as condições adotadas no Cenário 1, não é viável investir em nenhuma das regiões no estado de Minas Gerais, para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, pois isso irá acarretar prejuízos ao investidor.

CENÁRIO 2

Para o Cenário 2, onde o potencial de geração de energia elétrica da biomassa dobra em relação ao Cenário 1. Também determinou que o potencial médio de geração de energia também é o dobro para a mesma quantidade de cana-de-açúcar, quando se compara a Figura 108 com a Figura 103.

Na simulação deste cenário, o potencial médio das usinas termelétricas chegou a 53,93 MW para a produção de 5 Mega toneladas de cana-de-açúcar ao ano.

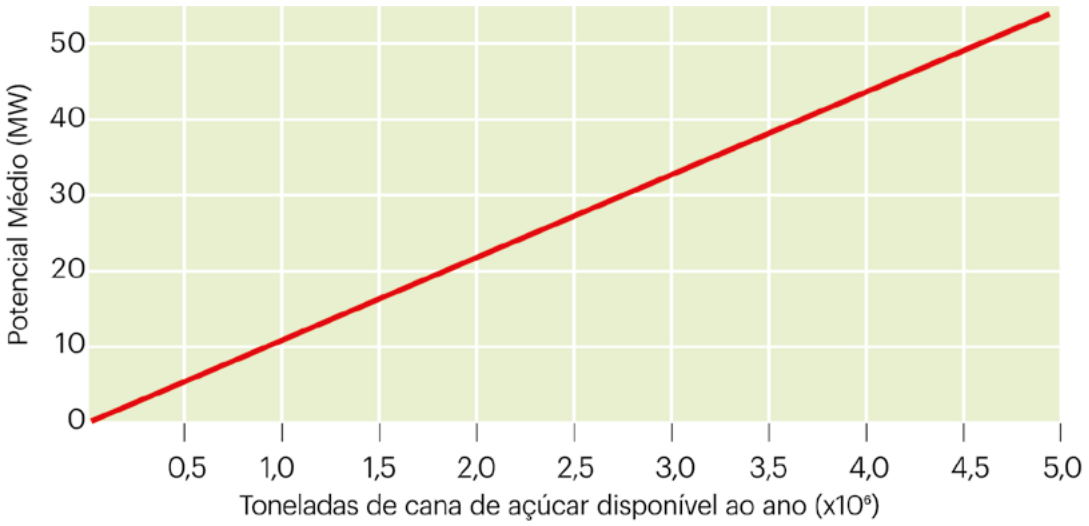


Figura 108 - Potencial médio de geração de energia para o Cenário 2.

Mesmo que o potencial de geração de energia dobrou em relação ao Cenário 1, para o mesmo potencial médio de geração de energia elétrica, no segundo Cenário, os custos com obtenção da biomassa reduziram, mantendo-se constantes os demais custos e ganhos financeiros, quando comparado com o primeiro cenário, portanto, para este cenário, espera-se ser o investimento mais viável, já que houve queda nos custos do kWh gerado.

Então, como se pode observar na Figura 109, o investimento começa a ser viável quando há a disponibilidade de pelo menos 0,185 Mt da biomassa, quando o potencial médio de geração é de aproximadamente 2 MW, pois a partir deste ponto, o VPL começa a ser positivo.

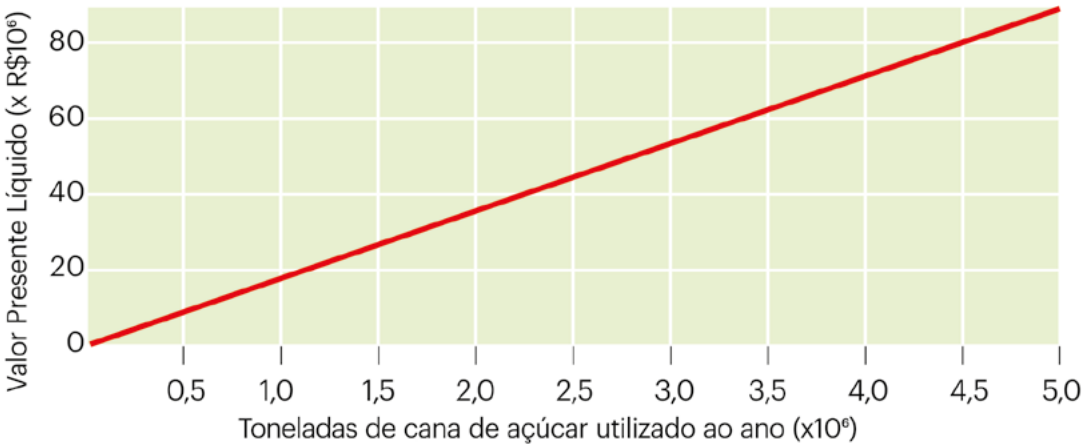


Figura 109 - Valor presente líquido do empreendimento para o Cenário 2.

Nota-se na Figura 109, que quanto maior for o empreendimento, maiores serão os benefícios do investimento. Mas diferente do que é esperado, os ganhos relativos em função do capital investido, tendem a saturar, o que talvez sugira ao investidor que para otimizar os seus ganhos, o investimento em outros empreendimentos com maior taxa de retorno, pode ser mais viável, como pode ser observado na Figura 110.

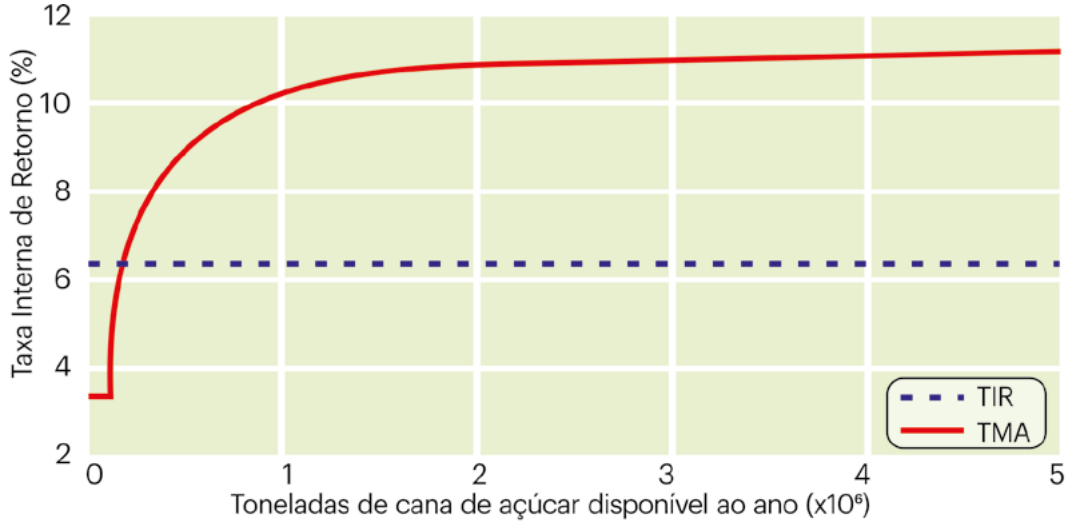


Figura 110 - Taxa interna de retorno do empreendimento para o Cenário 2.

Nota-se na Figura 110, que empreendimentos que consomem de 1 a 5 Mt de biomassa ao ano, ou seja, com potencial médio de geração variando de 10,8 a 53,93 MW, os ganhos relativos tendem a ser quase que constantes, portanto é interessante que o investidor instale usinas de no máximo 10,8 MW de potencial médio, caso o mesmo possua outros investimentos que possam trazer uma maior taxa interna de retorno.

Diferente do Cenário 1, agora os parâmetros de receita líquida total e relação benefício custo, apresentam valores viáveis para o empreendimento, como pode ser observado nas Figuras 111 e 112.

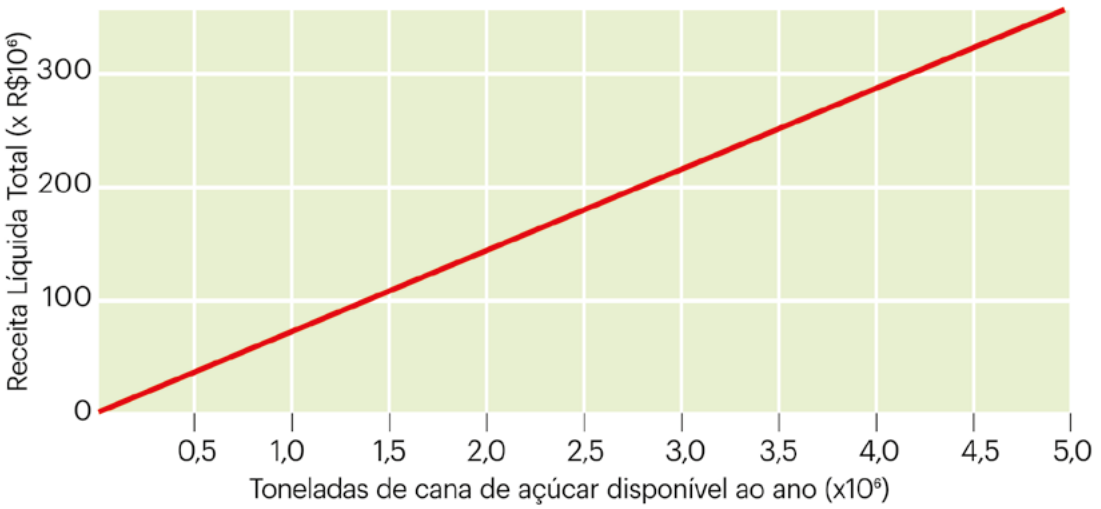


Figura 111 - Receita líquida total do empreendimento para o Cenário 2.

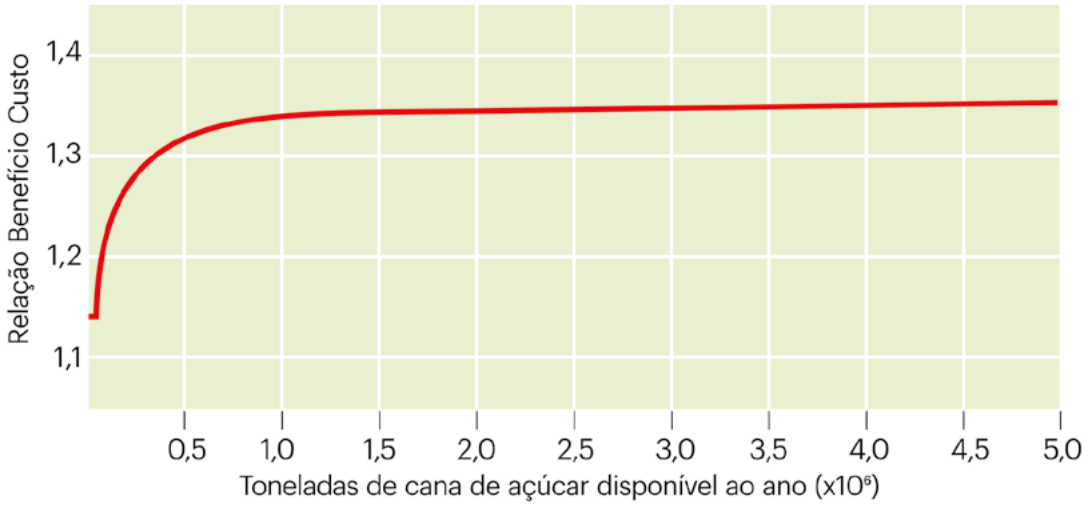


Figura 112 - Relação benefício-custo do empreendimento para o Cenário 2.

Nota-se na Figura 111 que os ganhos no investimento podem chegar a quase R$ 400 milhões, sem descontar a TMA no final da vida útil dos equipamentos de geração, já na Figura 112, nota-se que os ganhos financeiros variam de aproximadamente R$ 0,15 a R$ 0,35; isto em função da quantidade disponível de biomassa e consequentemente o potencial médio de geração.

Já que os parâmetros anteriores apresentaram viabilidade no empreendimento para algumas situações, é esperado que exista dentro do período de 20 anos, o retorno do capital investido. Na Figura 113, é apresentado o payback simples para este Cenário.

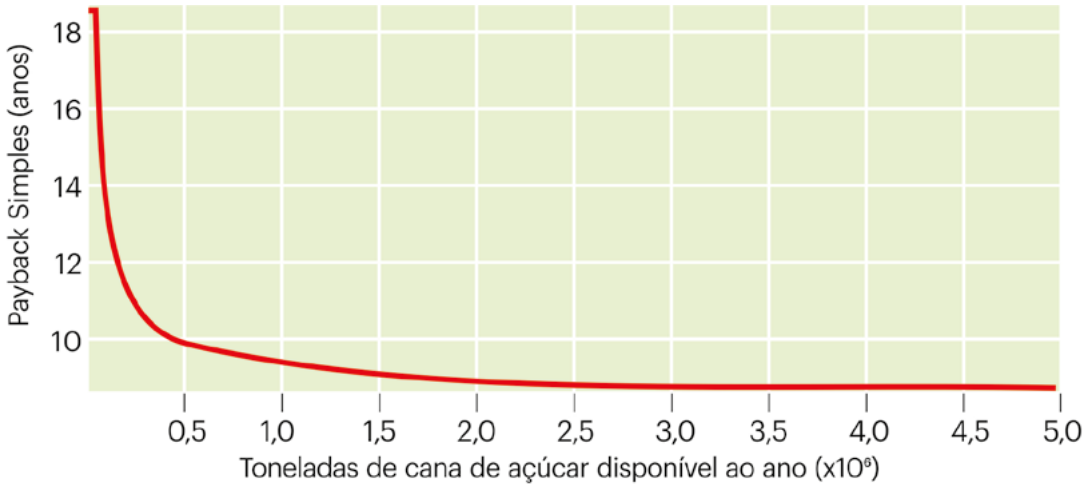


Figura 113 - *Payback* simples para o empreendimento no Cenário 2.

Nota-se na Figura 113 que o capital investido sempre será restituído ao não considerar a TMA, o que pode variar entre 8,5 e 19 anos.

Caso seja considerada a TMA, o investimento mais uma vez se torna viável apenas para aqueles empreendimentos com pelo menos 2 MW de potencial médio e que consuma pelo menos 0,185 Mt de biomassa ao ano, como se observa na Figura 114.

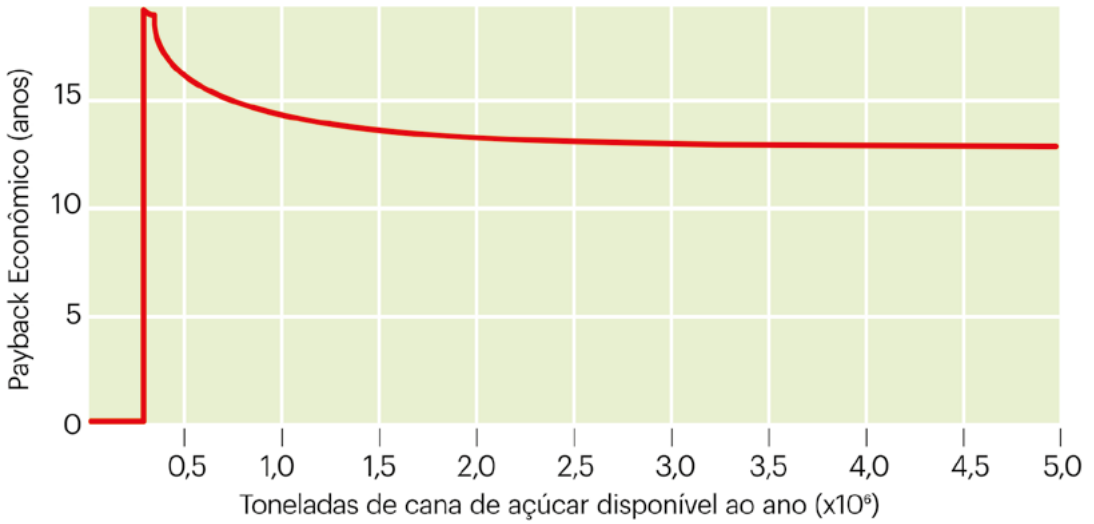


Figura 114 - *Payback* econômico para o empreendimento no Cenário 2.

Para este cenário o payback econômico variou de 12,6 a 19 anos, quando possível dentro de 20 anos, que é o tempo de vida útil dos equipamentos de geração.

Portanto, para este cenário, todas as mesorregiões no qual apresentaram algum dado de produção da biomassa, encontrou-se resultado positivo para a viabilidade na realização do investimento, exceto para a região de número 7 (Metropolitana de Belo Horizonte), que possui apenas o potencial de produzir 0,046 Mt da biomassa ao ano, não atingindo o valor mínimo de 0,185 Mt que é o necessário para o empreendimento ser viável.

CENÁRIO 3

Para este cenário, aumentou-se o potencial de geração de energia elétrica por tonelada de cana-de-açúcar e as horas de funcionamento da usina termelétrica.

Portanto, ao utilizar a equação (25), foram encontrados os seguintes potenciais médios para a geração de energia elétrica, isto em função da disponibilidade da cana-de-açúcar, como se segue na Figura 115

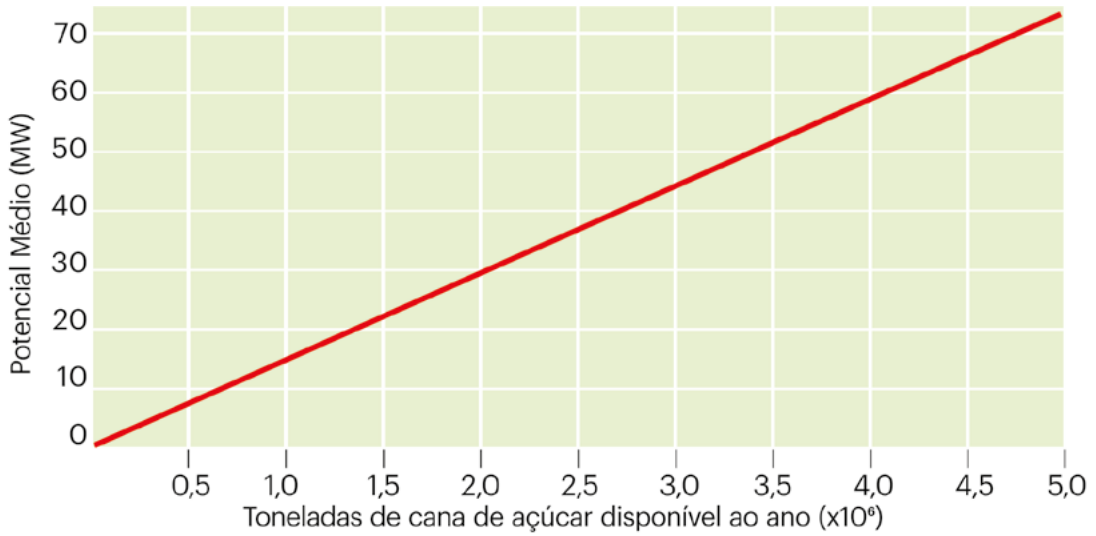


Figura 115 - Potencial médio de geração de energia elétrica para o Cenário 3.

Nestas condições, o potencial médio de geração chegou ao valor máximo de 72,1 MW para 5 Mega toneladas de biomassa de disponibilidade ao ano.

Neste cenário, o VPL sempre apresentou valores positivos, como pode ser observado na Figura 116.

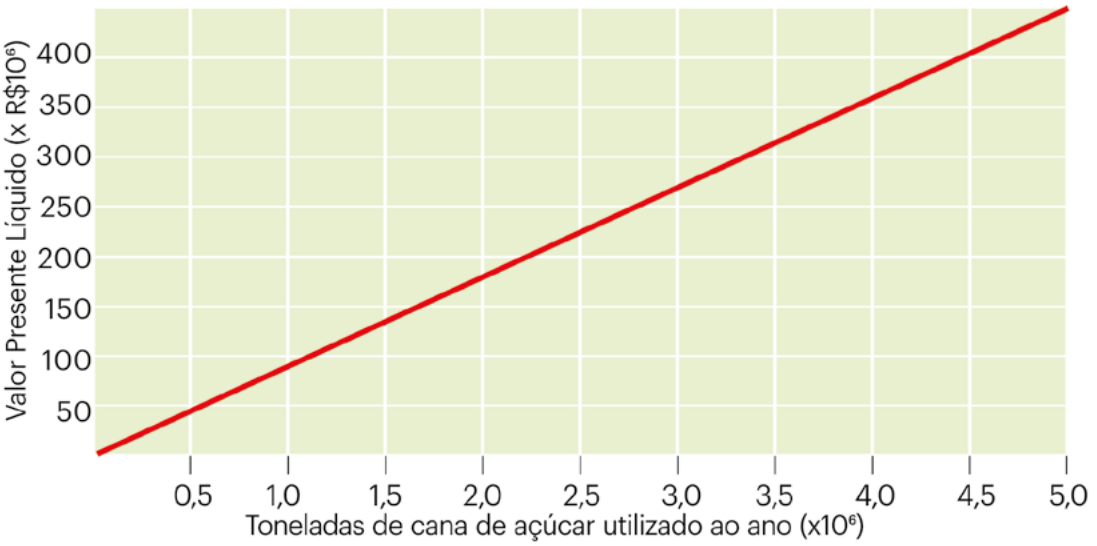


Figura 116 - Valor presente líquido do empreendimento no Cenário 3.

Os ganhos financeiros descontados a TMA chegaram a até 448 milhões de reais no final dos 20 anos de funcionamento dos equipamentos de geração da usina termelétrica.

Mais uma vez, semelhante ao que aconteceu no cenário anterior, os ganhos relativos também se saturam a partir de um determinado valor de potência média de geração ou quantidade disponível da biomassa. Observe na Figura 117, que novamente entre 1 e 5 Mega toneladas de disponibilidade de combustível ou entre 22,54 e 72,1 MW de potência média de geração, a taxa interna de retorno é quase que constante, adotando o valor aproximado de 23,27%.

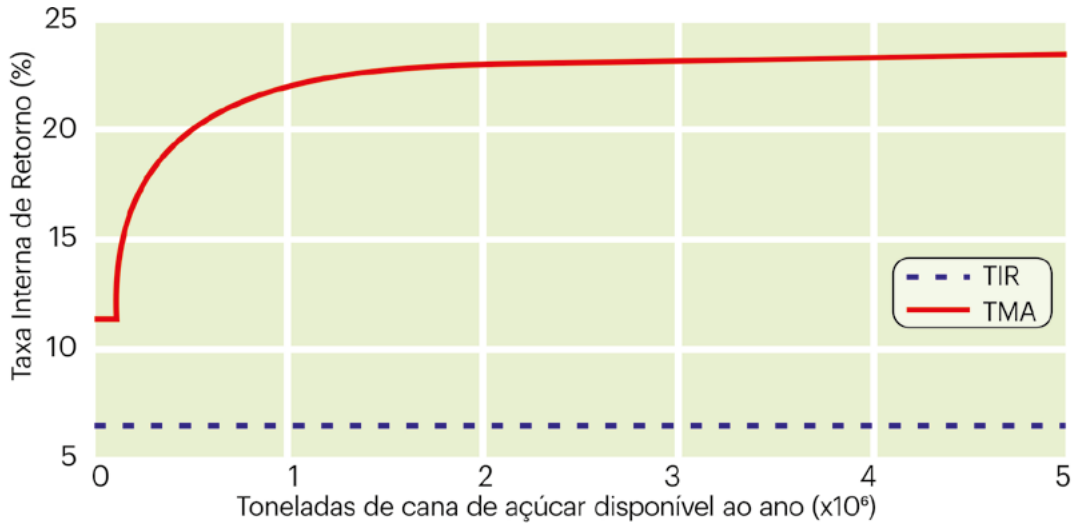


Figura 117 - Taxa interna de retorno do empreendimento para o Cenário 3.

Nota-se na Figura 117, que o investimento na geração de energia elétrica, sempre será viável para o Cenário 3, pois a TIR sempre foi maior que a TMA.

Consequentemente, a receita líquida total para o empreendimento no final dos 20 anos, apresentou sempre valores positivos, chegando a ultrapassar o valor de R$ 1 bilhão, como pode ser observado na Figura 118.

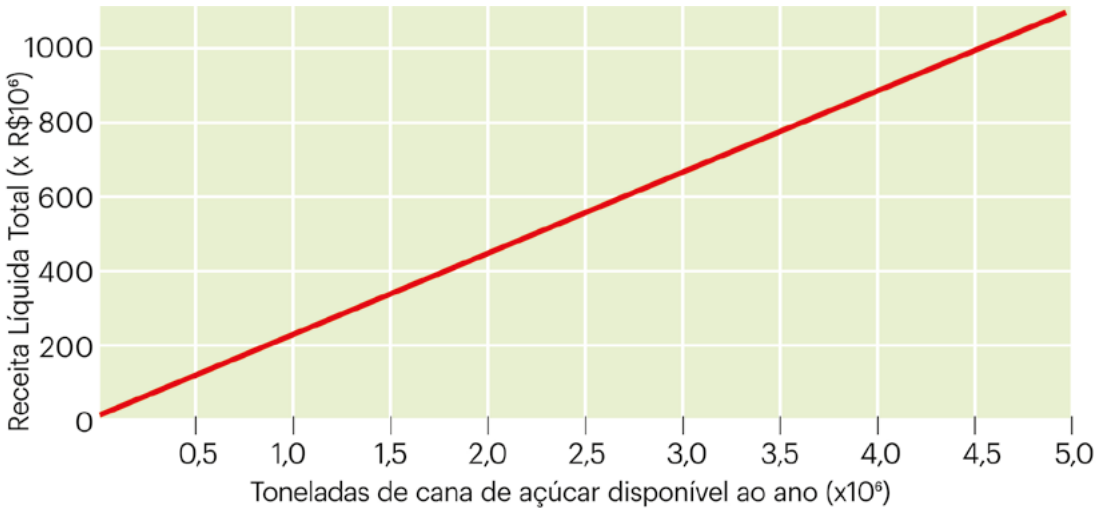


Figura 118 - Receita líquida total para o empreendimento no Cenário 3.

Para a RBC, os resultados encontrados sempre foram maiores que 1, onde os ganhos variaram entre R$ 0,43 e R$ 0,66 para cada R$ 1,00 investido, como segue na Figura 119.

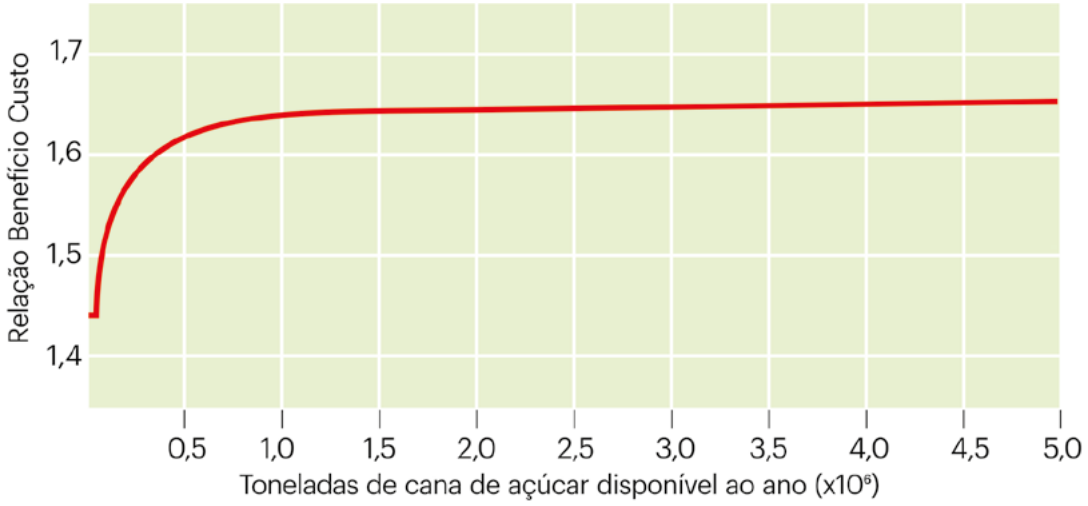


Figura 119 - Relação benefício custo para o empreendimento no Cenário 3.

Como os resultados anteriores sempre apresentaram viabilidade no investimento para o Cenário 3, o tempo de retorno do capital, sempre foi menor que 20 anos, seja ele simples ou descontado, como apresentado na Figuras 120 e 121.

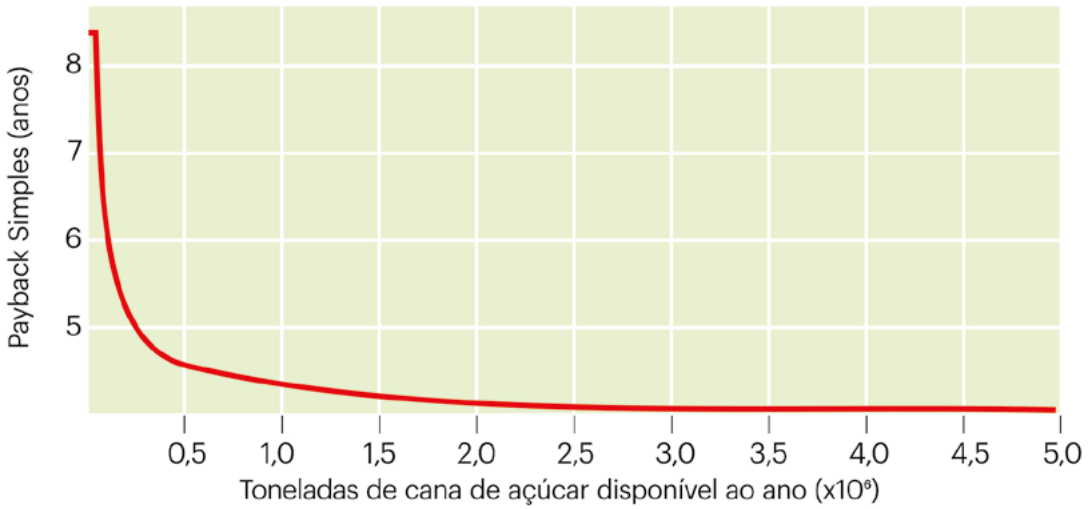


Figura 120 - *Payback* simples para o empreendimento no Cenário 3.

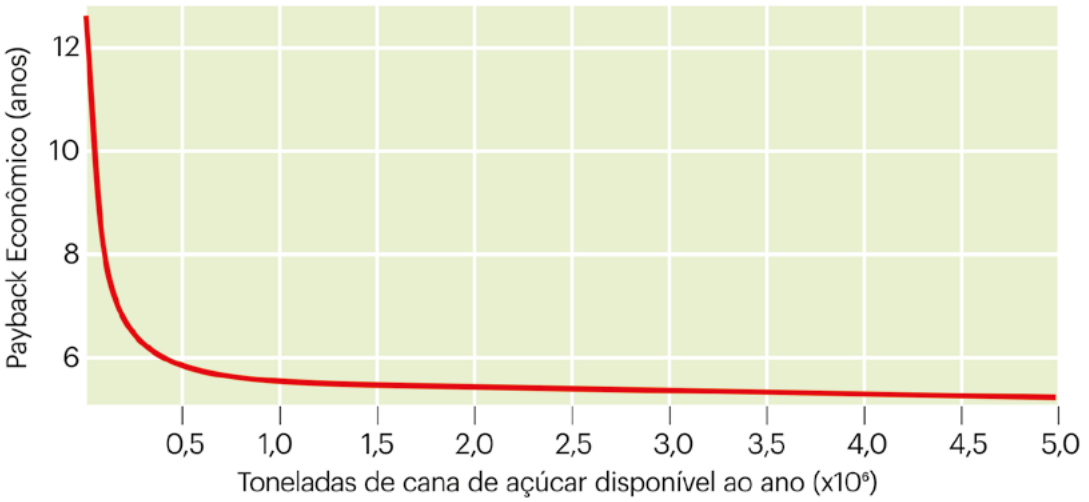


Figura 121 - *Payback* econômico para o empreendimento no Cenário 3.

O tempo de retorno do capital sem descontar a TMA variou entre 4 e 9 anos e com o desconto ficou entre 5 e 12,5 anos.

Com os resultados apresentados para o Cenário 3, conclui-se que nas condições adotadas, investir na geração de energia elétrica utilizando como fonte os resíduos da cana-de-açúcar para este cenário, é viável para qualquer mesorregião que apresentou algum dado de produção da biomassa no estado de Mina Gerais, como detalhado na Tabela 49.

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS REGIÕES MINEIRAS

Com a apresentação dos resultados, por cenário e de forma generalizada, é interessante analisar os resultados dos casos estudados nas mesorregiões mineiras, que foram detalhadas na tabela abaixo.

Os resultados para o primeiro cenário estão apresentados na Tabela 49.

Nº	$P_{médio}$ (MW)	VPL (R$)	TIR (%)	RBC	RLT (R$)
1	26,22	- 146.452.944,03	-12,92	0,81	- 164.820.767,35
2	3,97	- 25.034.766,82	-12,34	0,79	- 27.747.844,86
3	-	-	-	-	-
4	2,38	- 16.390.249,62	-11,99	0,78	- 17.988.768,72
5*	25,66	- 143.392.430,21	-12,91	0,81	- 161.365.653,93
6	15,69	- 89.003.993,06	-12,84	0,80	- 99.964.781,33
7	0,25	- 2.200.642,31	-11,19	0,74	- 2.356.224,89
8	-	-	-	-	-
9	7,83	- 46.106.761,28	-12,66	0,80	- 51.536.703,58
10	23,93	- 133.933.347,63	-12,91	0,80	- 150.686.988,49
11	-	-	-	-	-
12	6,93	- 41.200.247,89	-12,61	0,80	- 45.997.581,30

Tabela 49 - Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras no Cenário 1.

(*) Devido ao grande potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos da cana de açúcar na região do triângulo mineiro/Alto Paranaíba, a potência da usina para atender todo este potencial, apresenta inviabilidade técnica para a instalação, portanto essa região foi dividida em 10 usinas termelétricas de mesmo potencial e consumo da biomassa.

Para este cenário, o tempo de retorno do capital descontado e não descontado a TMA não foi possível dentro dos 20 anos de vida útil dos equipamentos de geração.

Os resultados das análises de viabilidade nas mesorregiões mineiras para a geração de energia elétrica a partir da cana-de-açúcar, conforme o que foi ilustrado no segundo cenário, estão apresentados nas Tabelas 50 e 51.

Nº	$P_{médio}$ (MW)	VPL (R$)	TIR (%)	RBC	RLT (R$)
1	52,45	85.538.492,70	11,18	1,35	354.447.276,81
2	7,94	10.074.046,18	9,90	1,33	50.836.455,13
3	-	-	-	-	-
4	4,77	4.701.261,63	9,01	1,31	29.220.507,41
5	51,33	83.636.306,50	11,18	1,35	346.794.344,31
6	31,39	49.832.526,86	11,02	1,35	210.793.965,51
7	0,50	- 840.341,82	3,56	1,15	1.751.116,88
8	-	-	-	-	-
9	15,66	23.170.819,95	10,62	1,34	103.527.787,68
10	47,86	77.757.249,11	11,16	1,35	323.141.544,53
11	-	-	-	-	-
12	13,86	20.121.298,65	10,52	1,34	91.258.862,24

Tabela 50 - Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras no Cenário 2.

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PBS (anos)	8,53	9,45	-	10,21	8,53	8,63	18,76	-	8,91	8,54	-	8,98
PBE (anos)	12,66	14,84	-	16,84	12,67	12,90	Inviável	-	13,53	12,69	-	13,69

Tabela 51- Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras no Cenário 2 (cont.).

Como foi descrito no item 5.3.1, apenas a região de número 7 (Metropolitana de Belo Horizonte) não possui viabilidade de realização do investimento para o Cenário 2, considerando apenas as mesorregiões em que os dados foram fornecidos.

Já para o Cenário 3, independentemente do tamanho da usina e disponibilidade da biomassa, é esperado que o investimento seja sempre viável, como está apresentado nas Tabelas 52 e 53.

Nº	$P_{médio}$ (MW)	VPL (R$)	TIR (%)	RBC	RLT (R$)
1	70,12	436.916.027,04	23,68	1,66	1.058.399.535,57
2	10,61	63.250.354,40	22,06	1,64	157.370.250,34
3	-	-	-	-	-
4	6,37	36.646.764,98	20,91	1,62	93.220.356,69
5	68,62	427.497.264,71	23,67	1,66	1.035.687.840,83
6	41,96	260.116.297,39	23,47	1,66	632.077.971,39
7	0,67	1.928.137,51	11,30	1,43	7.880.220,51
8	-	-	-	-	-
9	20,94	128.099.631,22	22,98	1,65	313.742.916,66
10	63,98	398.386.842,07	23,65	1,66	965.493.158,19
11	-	-	-	-	-
12	18,53	112.999.786,45	22,85	1,65	277.332.287,22

Tabela 52 - Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras no Cenário 3.

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PBS (anos)	4,23	4,53	-	4,78	4,23	4,27	8,45	-	4,36	4,24	-	4,38
PBE (anos)	5,10	5,54	-	5,89	5,10	5,15	12,49	-	5,29	5,11	-	5,32

Tabela 53 - Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras no Cenário 3 (cont.).

Como já foi apresentado, para o Cenário 3, todas as regiões são viáveis para investir em geração de energia elétrica a partir dos resíduos da cana-de-açúcar, quando consideradas apenas as regiões em que houve dado disponível, pois todos os parâmetros anteriores, apresentaram resultados positivos quanto a viabilidade no investimento.

ANÁLISE DA VIABILIDADE PARA O USO DO EUCALIPTO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para a geração de energia elétrica a partir da tora de eucalipto como descrito no item 4.9, é possível determinar o potencial médio de geração de energia em função da equação 22, apresentado na Figura 122.

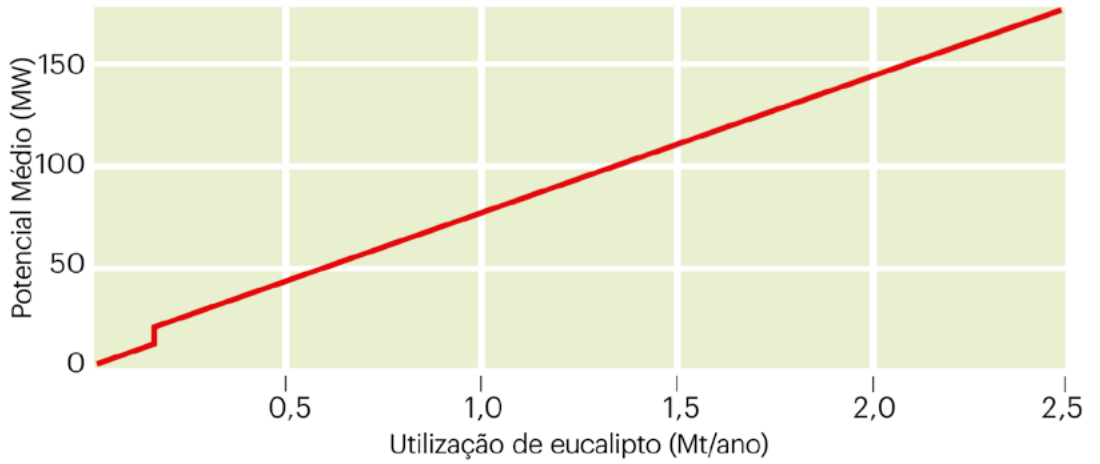


Figura 122 - Potencial médio de geração de energia a partir do eucalipto.

Observa-se na Figura 122 que quanto maior a disponibilidade de eucalipto, maior será o potencial médio na geração de energia elétrica, além disso, verifica-se que para uma disponibilidade anual de 0,159 Mt de eucalipto, quando o potencial médio de geração de energia é de aproximadamente 10 MW, o rendimento dos equipamentos de geração se elevam de 15 para 30%, ponto no qual a curva deixa de ser linear, mostrando ser o rendimento das máquinas de geração, como apresentada na equação 22, o fator determinante para que o investimento seja viável.

As simulações para o caso estudado de eucalipto compreendem valores de disponibilidade da biomassa entre 0 e 2,5 Mt/ano. Para estes valores, o VPL esperado durante os 20 anos de funcionamento da termoelétrica estão apresentados na Figura 123.

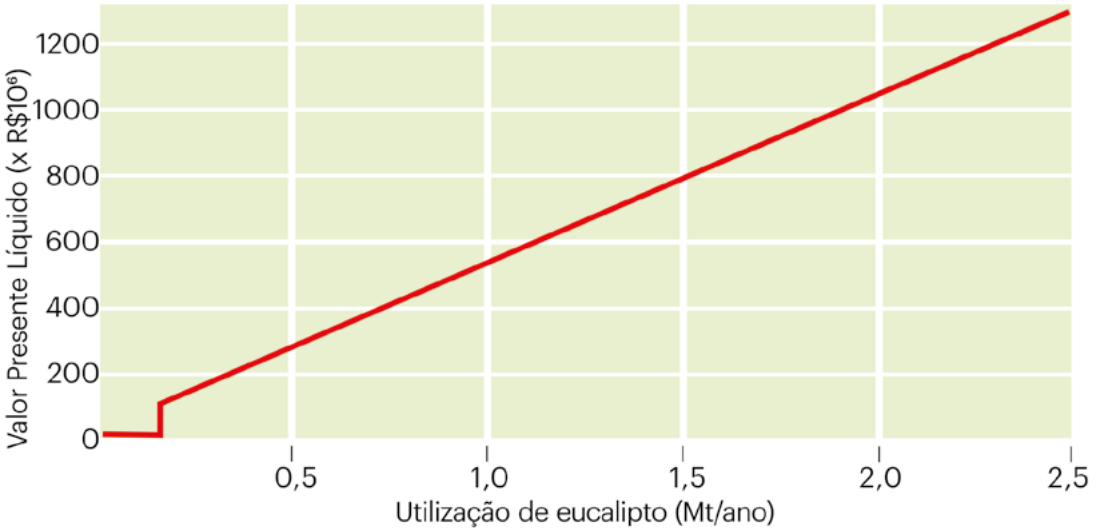


Figura 123 - Valor presente líquido estimado no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Nota-se na Figura 123, que os ganhos financeiros podem chegar a até R$ 1,35 milhões no final dos 20 anos, mesmo que descontando a TMA, e que o VPL só foi positivo para quantidades maiores ou igual a 0,159 Mt/ano de utilização do eucalipto ou 10 MW de potência média instalada, portanto é necessário que seja extraída do meio florestal, pelo menos 455 hectares de eucalipto por ano, para atender uma UTE com viabilidade no investimento.

Também, é possível concluir pela Figura 124, que quando o investimento é viável, a TIR variou entre 27,54% e 29,79%.

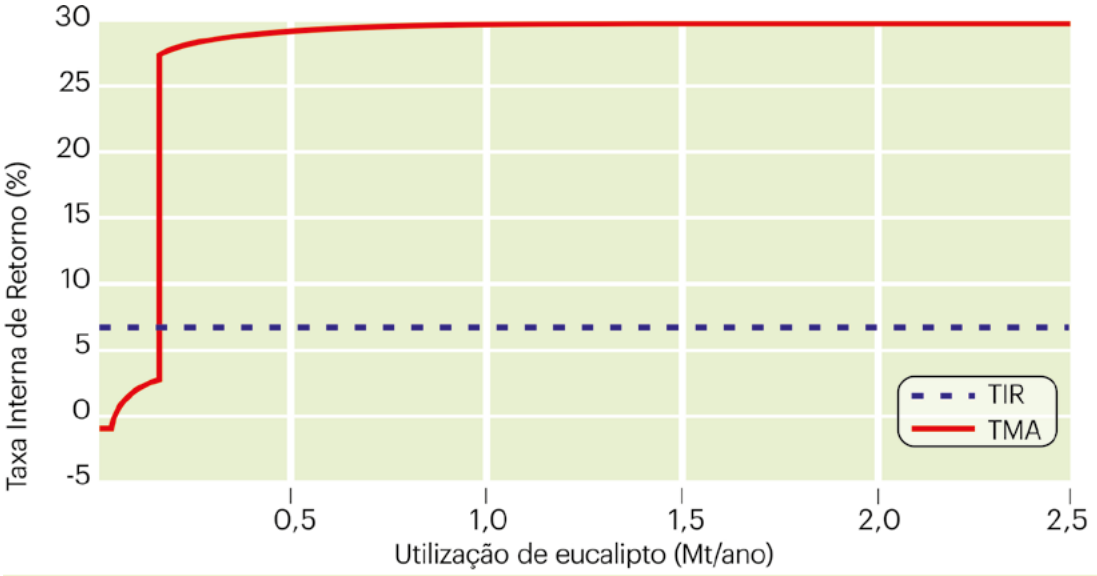


Figura 124 - Taxa interna de retorno esperada no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Já a receita líquida total, variou entre valores negativos e positivos, chegando a ultrapassar o valor de R$ 3 bilhões, como apresentado na Figura 125.

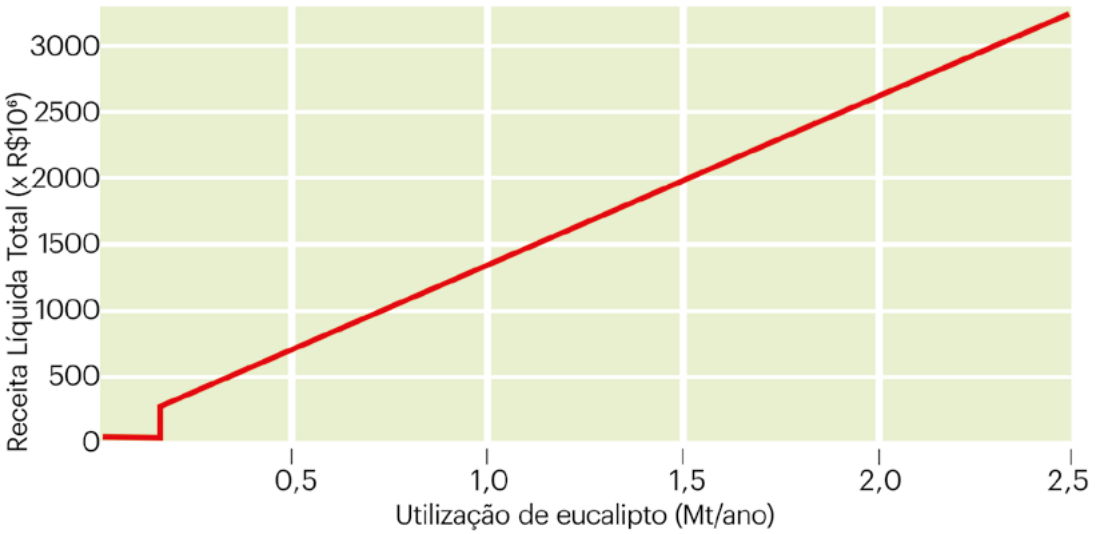


Figura 125 - Receita líquida total esperada no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Ao avaliar o ganho financeiro por unidade monetária investida, observa-se na Figura 126, que estes valores variam de - R$ 0,03 a R$ 0,83.

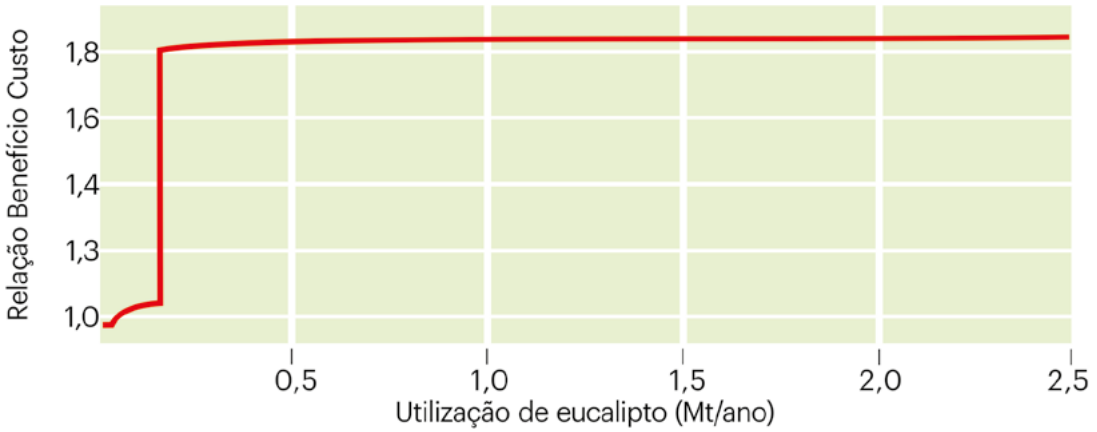


Figura 126 - Relação benefício custo esperado no final da vida útil dos equipamentos de geração.

Como os resultados anteriores, nem sempre o tempo de retorno do capital foi possível dentro dos 20 anos de funcionamento da UTE, como apresentado na Figuras 127 e 128.

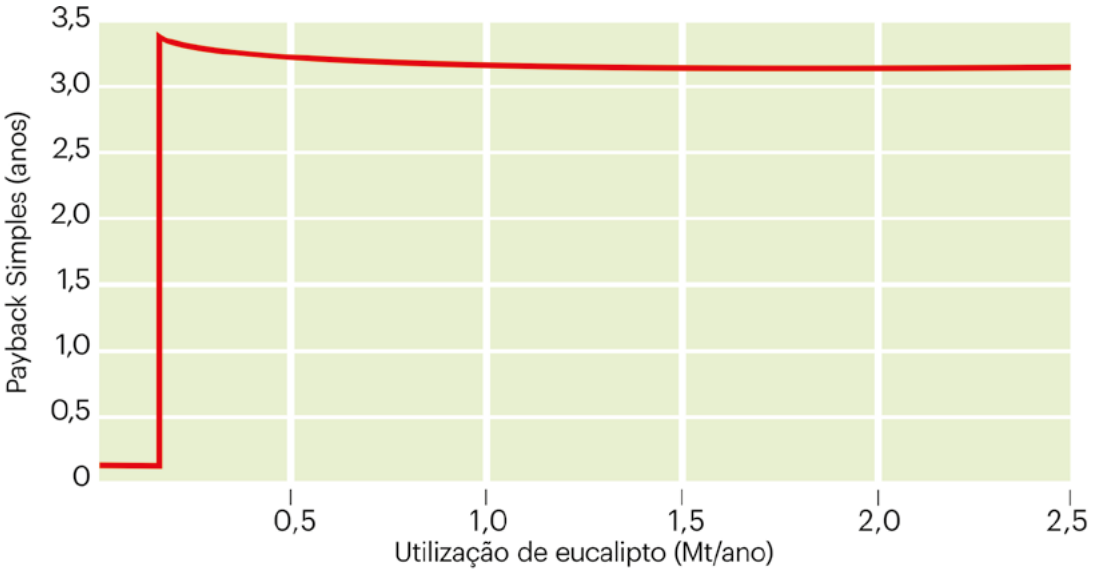


Figura 127 - *Payback* simples esperado para o empreendimento.

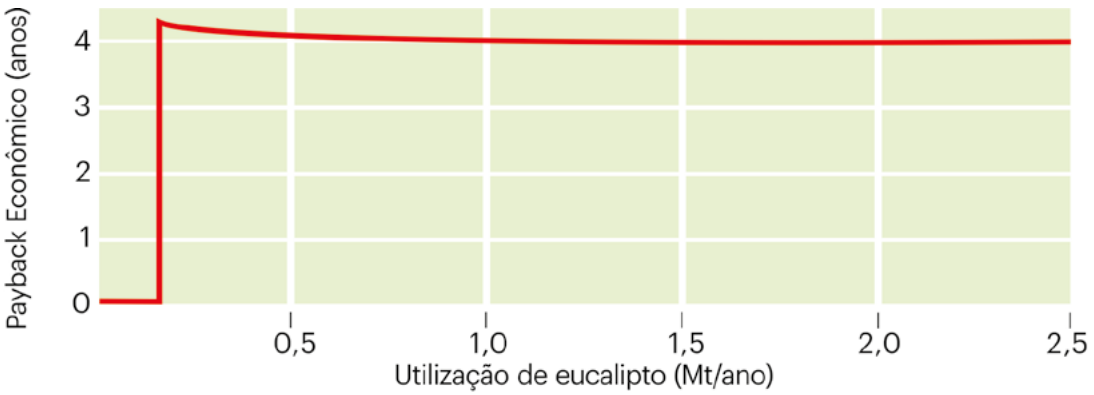


Figura 128 - *Payback* econômico esperado para o empreendimento.

O tempo de retorno do capital só foi possível para usinas de pelo menos 10 MW de potencial médio instalado, os valores variaram entre 3,37 a 3,65 anos, sem descontar a TMA, e 3,91 a 4,25 anos ao considerar a TMA.

Com estes resultados, conclui que nas condições adotadas, investir na geração de energia elétrica utilizando como fonte o eucalipto, não é viável para as mesorregiões de número 1, 4, 9 e 11, são elas: Noroeste de Minas, Vale do Mucuri, Oeste de Minas e Campos das Vertentes, respectivamente. Pois, elas não produzem o mínimo necessário de fonte energética para que o investimento seja viável, como detalhado na Tabela 47 .

ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DO EUCALIPTO PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NAS REGIÕES MINEIRAS

Com a apresentação dos resultados, de forma generalizada, sem se importar com o local onde será implantado a usina de geração, é interessante apresentar os resultados numéricos para as regiões mineiras das Tabelas 54 e 55.

Nº	$P_{médio}$ (MW)	VPL (R$)	TIR (%)	RBC	RLT (R$)
1	1,61	- 4.669.156,20	0,30	1,01	385.971,76
2	42,31	357.039.413,98	29,35	1,83	809.310.401,50
3	42,92	362.223.394,03	29,36	1,83	820.998.295,57
4	4,58	- 7.046.507,04	2,43	1,04	7.207.748,78
5	36,51	307.653.685,92	28,79	1,82	412.651.452,85
6	21,66	181.107.627,84	28,79	1,82	412.651.452,85
7	32,68	275.018.936,00	29,18	1,82	624.385.566,27
8	69,96	592.522.530,26	29,59	1,83	1.340.234.843,19
9	2,13	- 5.083.365,05	1,00	1,02	1.574.538,59
10	17,49	145.625.347,92	28,52	1,82	332.652.470,54
11	0,62	- 2.572.791,72	-1,07	0,98	-622.165,87
12	10,16	83.145.603,82	27,56	1,80	191.784.523,08

Tabela 54 - Resultados encontrados para as mesorregiões mineiras para o uso do eucalipto.

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PBS (anos)	19,91	3,42	3,42	19,30	3,49	3,49	3,44	3,44	19,71	3,52	Inviável	3,64
PBE (anos)	Inviável	3,99	3,99-	Inviável	4,08	4,08	4,02	3,95	Inviável	4,12	Inviável	4,29

Tabela 55 - Resultados encontrados para as regiões mineiras para o uso do eucalipto (cont.).

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DOS RESÍDUOS DA ARBORIZAÇÃO URBANA PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA

Para avaliar a viabilidade do uso dos resíduos de podas das árvores urbanas, também foi feita uma análise geral, sem considerar o local e o potencial de produção do resíduo.

Portanto, determinou-se os parâmetros que estão sendo avaliados neste trabalho, para potenciais de produção de resíduos de 0 a 50.000 toneladas por ano.

Para a biomassa analisada, o potencial de geração de energia elétrica, para o intervalo estudado, está apresentado na Figura 129.

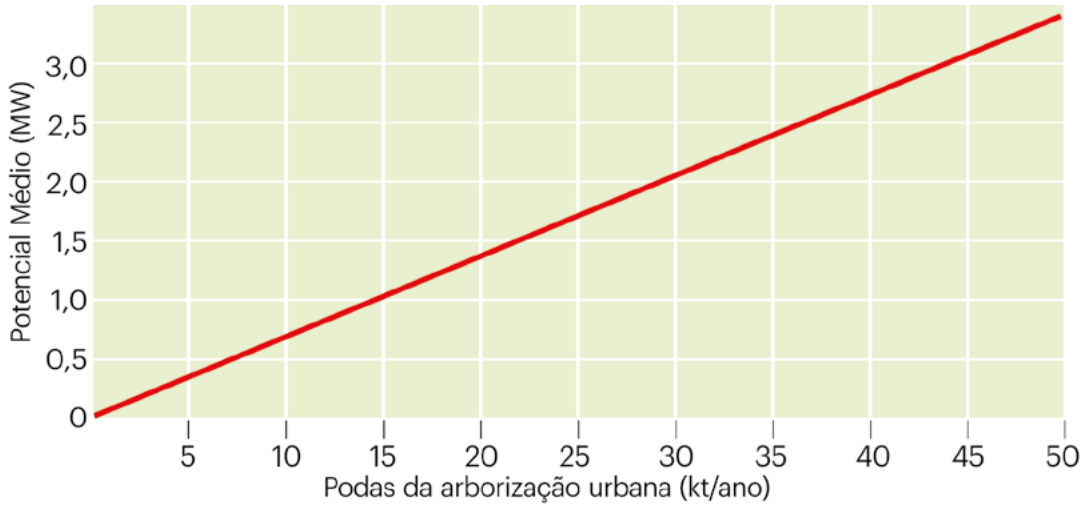


Figura 129 - Potencial médio de geração de energia elétrica para os resíduos da poda da arborização urbana.

Para o intervalo considerado de produção de resíduos, o potencial máximo que foi possível de se obter foi igual a aproximadamente 3,31 MW.

Devido ao potencial de geração de energia elétrica, estes casos poderiam ser utilizado em usinas termelétricas com micro e minigeração distribuída, para atender apenas uma unidade consumidora, como é previsto e normatizado pela resolução normativa 482 da ANEEL.

Para estes valores, o VPL esperado durante os 20 anos de funcionamento da termoelétrica estão apresentados na Figura 130.

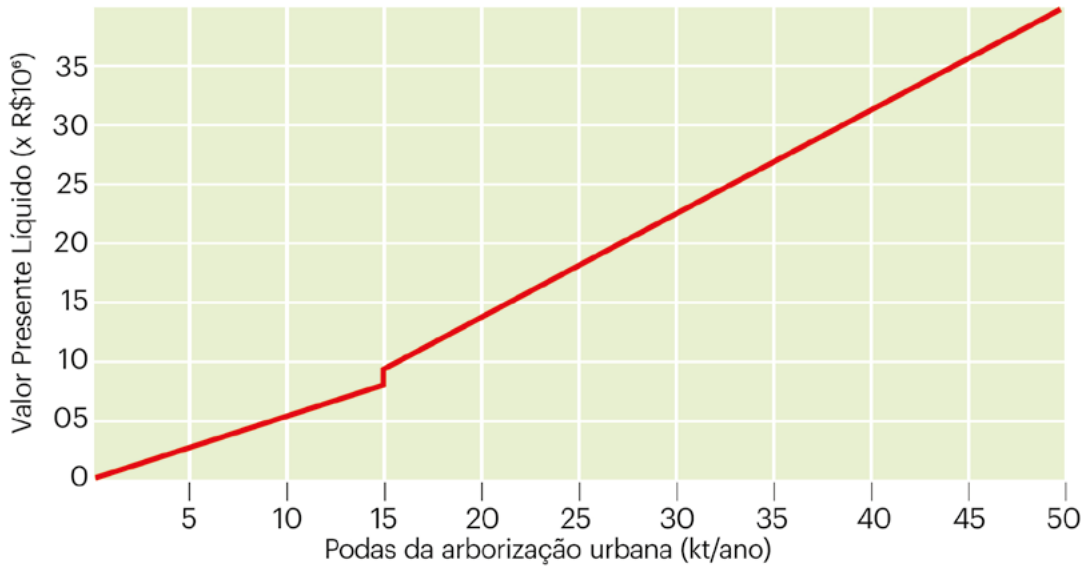


Figura 130 - Valor presente líquido estimado para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de poda da arborização urbana.

Nota-se que o VPL foi positivo para instalações com potencial médio de geração de energia que utilizam pelo menos 1,01 kt do resíduo da poda de árvores ao ano ou com potencial médio de no mínimo 67,15 kW.

Com isso, a TIR sempre foi maior que a TMA adotada, para a utilização de resíduos de pelo menos 1,01 kt/ano, chegando ao valor máximo de 32,88%, para o intervalo estudado, como apresentada na Figura 131

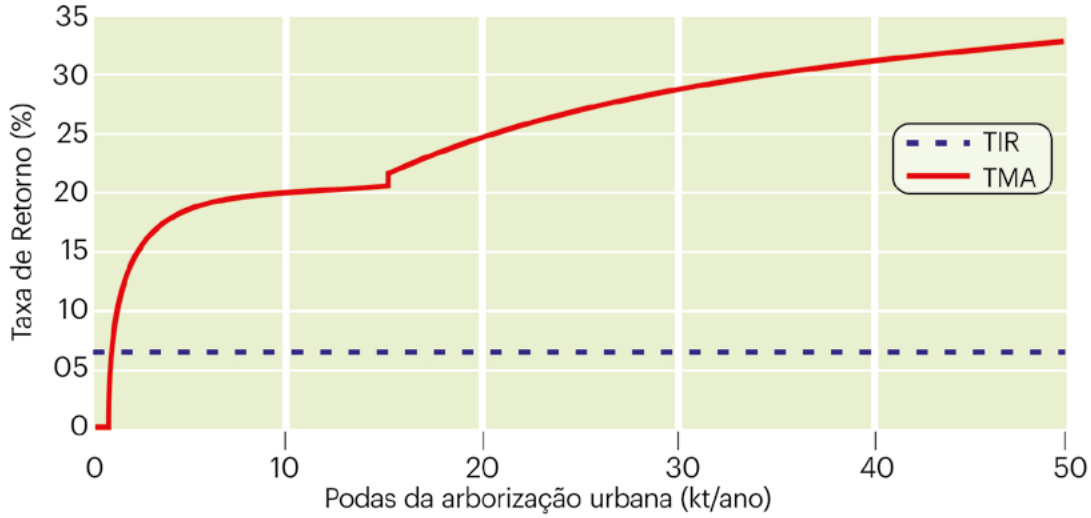


Figura 131 - Taxa interna de retorno estimada para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de podas da arborização urbana.

A RLT para este investimento, só foi positivo a partir de usinas que utilizam 0,734 kt/ano dos resíduos das podas das árvores ou com 48,56 kW de potencial médio instalado, chegando a obter como ganho, no máximo R$ 86,18 milhões sem considerar os descontos da TMA, para o caso da usina termoelétrica com potencial médio de geração igual a 3,31 MW ou que consome 50 kt do resíduo ao ano, como se pode observar na Figura 132.

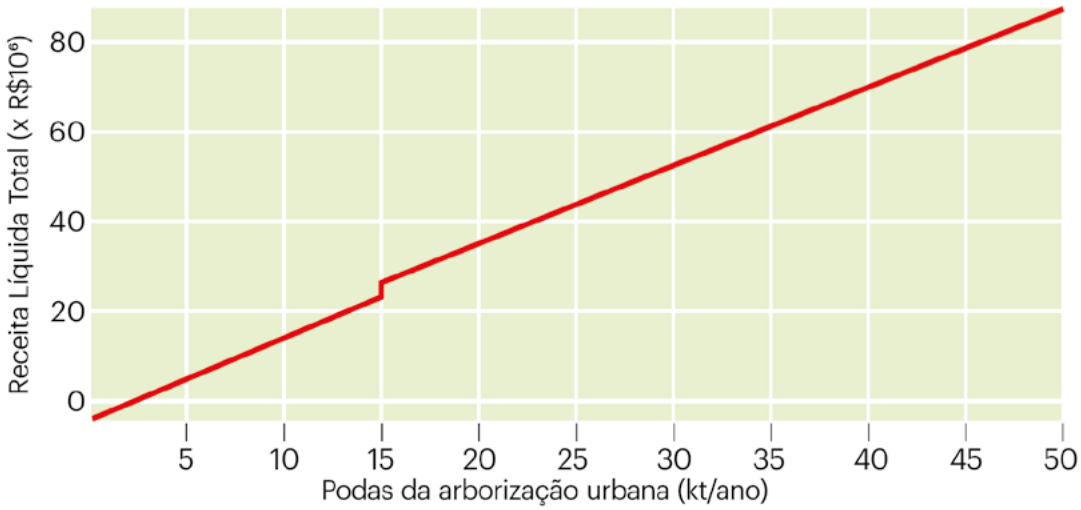


Figura 132 - Receita líquida total estimada para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de poda da arborização urbana.

Portanto, para um grande investidor, os ganhos anuais, podem ultrapassar o R$ 4 milhões. Sendo que cada R$ 1,00 investido poderá trazer como retorno, aproximadamente R$ 2,57; como apresentado na Figura 133.

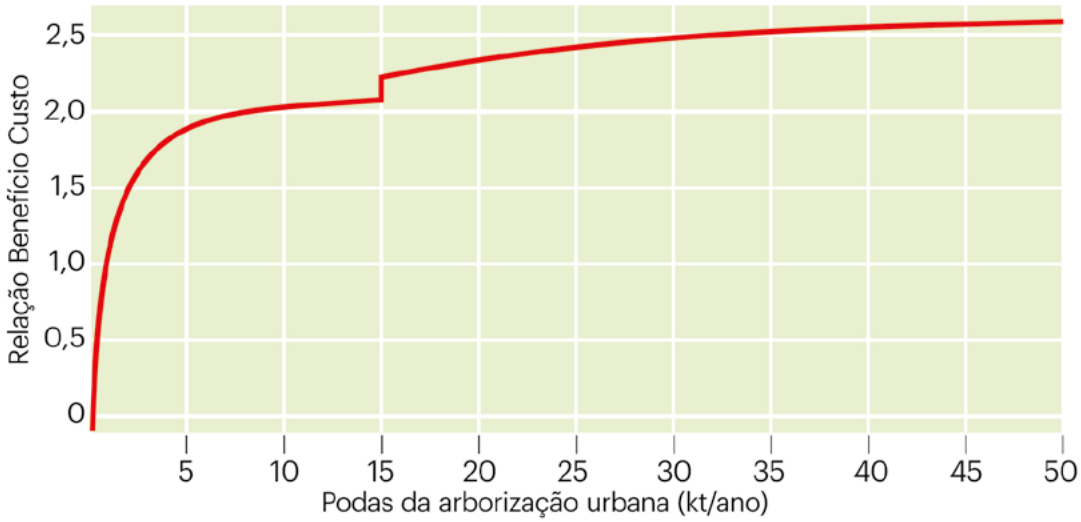


Figura 133 - Relação benefício custo estimada para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de poda da arborização urbana.

Para o intervalo estudado, o tempo de retorno do capital, sem descontar a TMA, sempre foi possível para aquelas usinas com potencial médio de geração maior que 56,9 kW e que consomem pelo menos 0,86 kt do resíduo da poda de árvores ao ano.

Observa-se na Figura 134, que quando foi possível o retorno do capital sem o desconto da TMA, o tempo simulado variou de 3 a 19 anos.

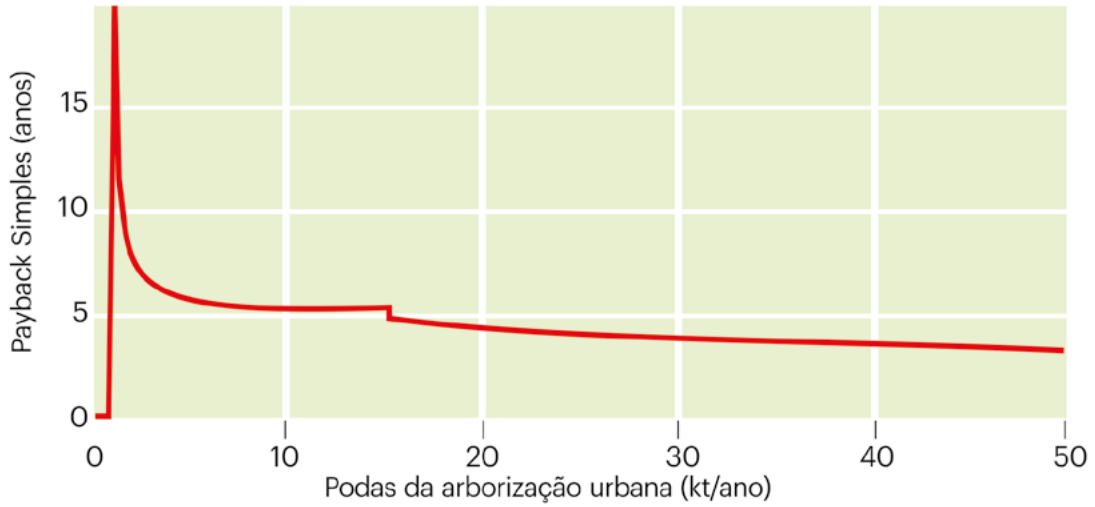


Figura 134 - *Payback* Simples estimado para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de arborização urbana.

Quando considerada a TMA, o tempo de retorno do capital variou entre 3,4 e 19 anos, isso para usinas termelétricas com potencial médio de geração de energia de pelo menos 67,15 kW ou que utilizam no mínimo 1,01 kt do resíduo da poda de árvores ao ano, como é apresentado na Figura 135.

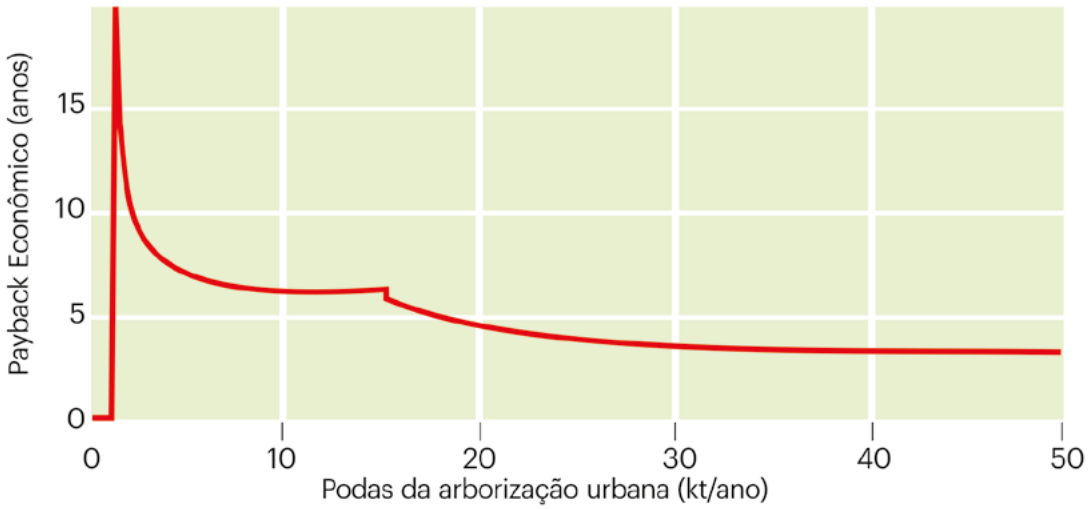


Figura 135 - *Payback* Econômico estimado para a geração de energia elétrica a partir dos resíduos de arborização urbana.

Os resultados anteriores mostraram que o investimento na geração de energia elétrica que utilizam os resíduos da poda de árvores da cidade de Belo Horizonte, é viável economicamente, pois como apresentado na Tabela 49, a produção do resíduo é superior a 1,01 kt ao ano.

Além disso, percebe-se que os parâmetros econômicos foram sensíveis a mudança de metodologia adotada em relação aos custos com mão de obra e manutenção, para usinas com potencial médio instalado superior a 1 MW ou que utilizam pelo menos 15,12 kt do resíduo da poda da arborização urbana.

A ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O USO DOS RESÍDUOS DE PODA DA ARBORIZAÇÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com a apresentação dos resultados, de forma generalizada, sem se importar com o local onde será implantado a usina de geração, os valores encontrados podem ser observados na Tabela 56.

$P_{médio}$ (MW)	VPL (R$)	TIR (%)	RBC	RLT (R$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1,26	12.814.810,24	24,16	2,30	30.819.538,16	4,15	4,98

Tabela 56 - Resultados encontrados para o município de Belo Horizonte, para o uso dos resíduos de poda da arborização urbana, para a geração de energia elétrica

Com os resíduos das podas de árvores da cidade de Belo Horizonte, pode-se atender uma unidade consumidora com consumo de até 10.499 MWh por ano, o que pode ser o consumo de uma indústria de grande porte no Brasil.

5.6 CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, conclui-se que além de poder contribuir com o meio ambiente, ao utilizar fontes renováveis para a geração de energia elétrica, para as usinas termelétricas apresentadas, há viabilidade econômica para os empreendimentos, em algumas situações, utilizando-se para tal, os indicadores econômicos como: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Relação Benefício-Custo, Receita Líquida Total e Tempo de Recuperação do Capital.

Percebeu-se que em relação a cana-de-açúcar, é importante que antes que seja realizado o investimento, é necessário que seja avaliada, além dos parâmetros externos, como: preço de venda da energia elétrica, custos dos equipamentos, manutenção e da biomassa, o potencial de geração de energia elétrica do resíduo.

Para a cana-de-açúcar com o potencial de geração de energia elétrica de 30 kWh por tonelada, em nenhuma situação obteve-se resultados positivos quanto a viabilidade no investimento. No entanto, quando o potencial de geração do resíduo é de 60 kWh por tonelada, usinas com pelo menos 2 MW de potencial médio instalado ou que utiliza pelo menos 0,185 Mt da biomassa ao ano, apresentaram resultados positivos. Finalmente, quando o potencial do resíduo foi considerado como de 120 kWh de geração de energia elétrica por tonelada, ocorreu a viabilidade para todos os casos estudados.

Para as condições adotadas, o investimento em usinas termelétricas que utilizam o eucalipto, a viabilidade no investimento ocorreu apenas para aquelas usinas com potencial médio de geração instalado, superior ou igual a 10 MW, que consomem pelo menos 0,159 Mt de eucalipto ao ano, que é o mesmo que dizer que para isso é necessário a extração de eucalipto de pelo menos 455 ha ao ano, o que corresponde a uma área de reflorestamento de 3.185 ha, para um ciclo de produção de sete anos.

Para a utilização dos resíduos da poda de árvores para a geração de energia elétrica no município de Belo Horizonte - MG, há viabilidade econômica para a utilização destes resíduos na geração de energia elétrica. Pois, para que a análise seja viável, é necessário pelo menos a produção de 1,01 kt do resíduo ao ano, sendo que nesta capital é produzido mais que 19 kt ao ano, como foi apresentado para o ano de 2015. O que é capaz de atender uma usina de 1,26 MW de potencial médio instalado.

Na elaboração deste trabalho, optou-se em considerar como investidor, aquele empreendedor que deseje vender a energia elétrica gerada e não aquele investidor que queira atender a apenas as suas necessidades, como por exemplo, o fornecimento de energia elétrica para alguma indústria próxima ao centro de geração.

Caso a segunda opção de investimento fosse a adotada, os ganhos financeiros iriam ser muito maiores que os apresentados neste trabalho, pois o primeiro, arrecadaria somente a parcela de geração de energia que é taxada nas faturas de energia elétrica, já o segundo, iria economizar além da taxa referente a geração, as parcelas referentes a distribuição, transmissão, perdas, encargos setoriais e tributos, o que poderia gerar uma economia de até R$ 843,72 por MWh gerado.

6

FECHAMENTO E CONCLUSÕES

Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro
Luciano Sathler dos Reis
Ruibran Januário dos Reis
Maria Lúcia Calijuri
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
Delly Oliveira Filho

Ao longo da última década, os resíduos agroindustriais tornaram-se importante fonte renovável de energia limpa. Entretanto, um ponto decisivo para o futuro do setor de bioenergia é saber, como o crescimento da produção e utilização da biomassa para geração de eletricidade poderá afetar a produção de alimentos, a biodiversidade, a conservação dos solos e da natureza e os projetos para sequestro de carbono. Há, ainda, uma grande incerteza acerca, tanto da disponibilidade futura de terras para a expansão das lavouras energéticas quanto da produtividade regional de biomassa. Saber até onde se pode avançar na produção de bioenergia é imprescindível para que esta seja, de fato, uma opção atrativa, economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente desejável, para mitigar os efeitos das emissões de gases efeito-estufa, associados às atuais matrizes energéticas, no aquecimento global e nas mudanças climáticas.

As principais fontes de biomassa energética podem ser agrupadas nas seguintes categorias: I) resíduos agrícolas, produzidos na colheita das lavouras e pelas indústrias agropecuárias; II) resíduos florestais, oriundos das indústrias madeireiras e da exploração das florestas; III) cultivos energéticos – árvores e lavouras integralmente destinadas à produção de energia; e IV) resíduos sólidos urbanos. Apesar da multitude de fontes e de tecnologias para sua conversão, a participação da biomassa como energia limpa renovável nas matrizes energéticas regionais do Brasil ainda é bastante reduzida. Em 2013, a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira foi da ordem de 41%, 10% nos Estados Unidos e, em termos globais, 16% (PEREIRA et al., 2012; EPE, 2014; EIA, 2016).

Uma parcela substancial das pesquisas recentes deste setor tem se concentrado no aprimoramento das estimativas do potencial e dos níveis produção dos plantios energéticos (TENERELLI e MONTELEONE, 2008; VOIVONTAS et al., 2001). A elevada dispersão geográfica do potencial de produção de biomassa impõe a utilização dos sistemas de informações geográficas em estudos acerca da distribuição espacial da oferta de biomassa, das estimativas do custo de seu transporte até as usinas existentes e da seleção de locais mais promissores para a implantação de novos cultivos energéticos (COSTA, 2014; TEIXEIRA, 2016).

Assim, o presente estudo explora, estrategicamente alicerçado na tecnologia dos sistemas de informações geográficas, as inúmeras possibilidades para produção de biomassa, enfatizando-se o elevado potencial dos resíduos agrícolas e florestais.

O potencial total de energia elétrica para Minas Gerais foi de 2.680 MW, o que corresponde a uma quantidade de energia disponível de aproximadamente 21 milhões de MWh. Se toda esta energia fosse produzida a partir da biomassa, poderia ser iluminadas mais de 11 milhões de residências, com consumo médio de 150 $kWh.mês^{-1}$. As fontes de biomassa que apresentaram maior potencial energético foram os efluentes líquidos bovinos, a cana-de-açúcar (bagaço) e o milho, com 917 MW, 688 MW e 452 MW, respectivamente (TABELA 57).

Fontes de Biomassa	Produção	Unidade	Potencial Energético (MW)	Energia Disponível (MWh)	Nº Equivalente de Residências (150kWh.mês-1)
Café (casca)	1.458.062	Tonelada	42	345.846	192.136
Cana-de-Açucar (bagaço)	63.758.976	Tonelada	688	3.825.539	2.125.299
Cana-de-Açucar (vinhaça)	31.879.488	Tonelada	67	589.410	327.450
Milho (resíduos)	6.917.527	Tonelada	452	3.763.833	2.091.018
Soja (palha)	3.193.685	Tonelada	92	765.620	425.345
Resíduos de Madeira em Tora	11.662.395	m³ madeira em tora	98	815.046	452.803
Efluentes Líquidos Bovinos	23.708.263	m³ de metano	917	8.032.109	4.462.283
Efluentes Líquidos Aves	116.353.651	m³ de metano	120	1.054.737	585.965
Efluentes Líquidos Suínos	5.091.824	m³ de metano	82	715.426	397.459
Efluentes Líquidos Domésticos	60.587.891	m³ de metano	19	169.725	94.292
Resíduos Sólidos Urbanos	320.786.047	m³ de metano	103	898.619	499.233
Total			**2.680**	**20.975.910**	**11.653.284**

Tabela 57 - Média do potencial e energia disponível para Minas Gerais (2010-2015).

Analisando-se o panorama da energia da biomassa por município, as cidades que apresentaram maior potencial energético foram Uberaba com 118 MW, Uberlândia com 59 MW, Frutal com 55 MW e Paracatu com 53 MW. São municípios que possuem uma agropecuária fortemente desenvolvida, além de grandes áreas para produção. A Figura 137 apresenta o potencial total de energia elétrica a partir de biomassa para todos os municípios de Minas Gerais.

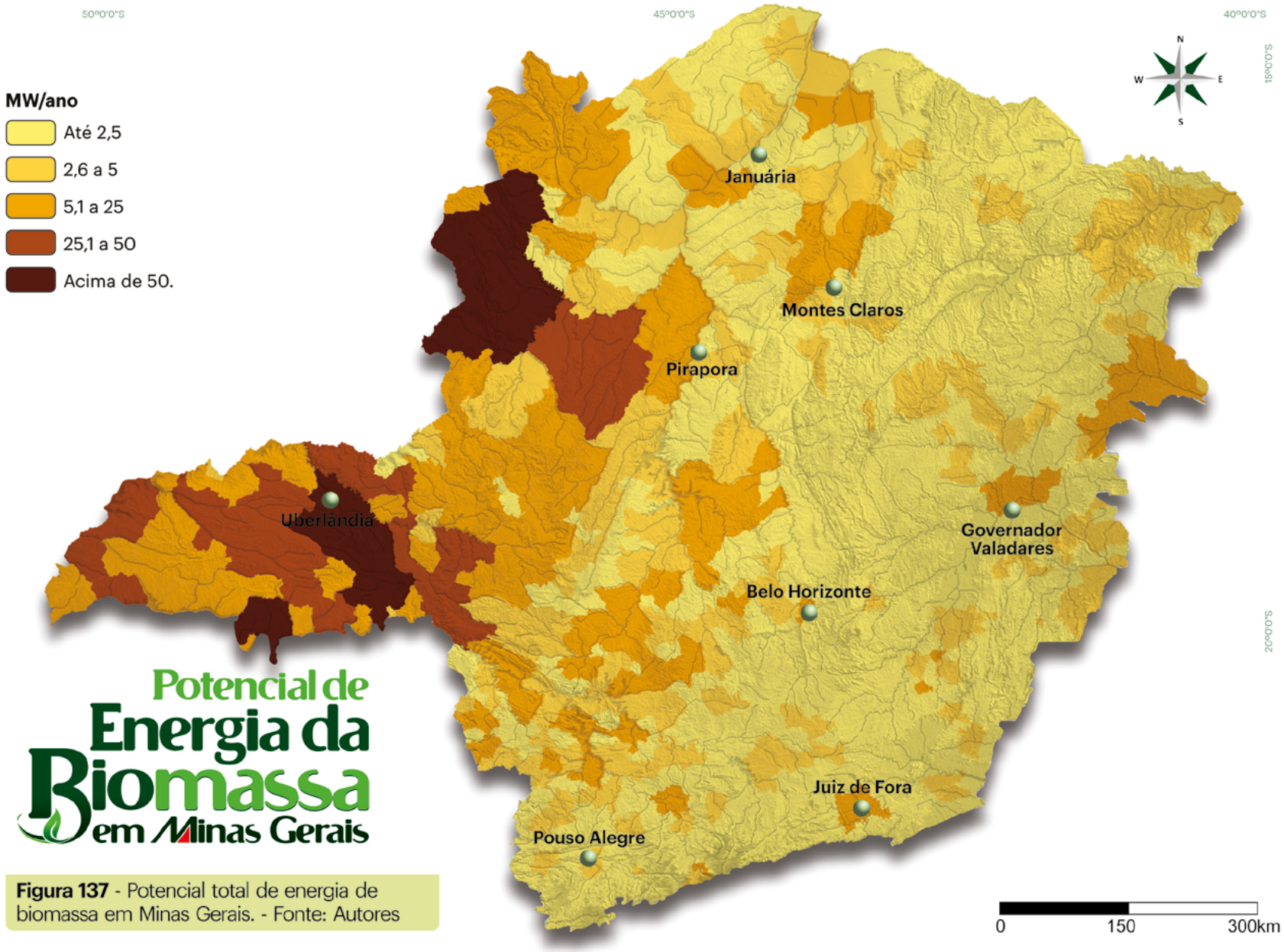


Figura 137 - Potencial total de energia de biomassa em Minas Gerais. - Fonte: Autores

6.1 DESAFIOS

A viabilização das quatro fontes de agroenergia, condição sine qua non para consolidar a transição da matriz energética brasileira, priorizando-se o uso de fontes renováveis de energia limpa, impõe diferentes desafios, apresentados a seguir.

• **Biomassa florestal**: a baixa densidade e a alta dispersão geográfica dos volumes disponíveis e potenciais, em relação às plantas industriais existentes para geração de bioenergia, exigem a conversão prévia dessa biomassa em subprodutos como carvão, pellets, briquetes, de maior densidade energética, para baratear o seu transporte até as plantas de produção de bioenergia, facilitando seu uso final (RANTA, 2005).

O problema, no entanto, é bem mais complexo; há que se considerar inúmeras restrições e exigências de natureza legal (ambientais e sociais), econômica e técnica, para só então se buscar uma solução ótima. Este é um problema clássico de logística de distribuição, em que se mesclam infinitas possibilidades de arranjos da distribuição espacial e tamanhos de unidades de densificação e de usinas de bioenergia com as distâncias de transporte da matéria prima e de transmissão de energia. Sua formulação – e solução– como um modelo de alocação-localização, combinando as técnicas de programação linear com os recursos de análise espacial disponibilizados pelos sistemas de informações geográficas, envolve, via de regra, as seguintes variáveis (TEIXEIRA, 2016):

a) quantidade de biomassa disponível na porteira de cada propriedade;
b) tipo de estrada, distância e custo de transporte até o destino mais próximo (ponto de transbordo, unidade de densificação ou usina de geração de bioenergia);
c) custo de construção de ramais de transmissão de energia elétrica;
d) restrições legais:
I - distância mínima de áreas urbanas, corpos d'água, malhas viárias, aeroportos;
II -áreas de exclusão (áreas de proteção ambiental, terras indígenas).
e) restrições econômicas:
I - distância máxima de transporte;
II - custo de construção de uma unidade adicional de densificação de biomassa;
III - custo de construção de uma planta adicional de geração de bioenergia;
IV - áreas de exclusão: benfeitorias rurais, áreas de cultivo, áreas urbanas.
f) restrições técnicas:
I - condições edáficas (declividade máxima do terreno, tipo de solo);
II - modais de transporte suportados em cada tipo de estrada;
III - capacidades mínima e máxima de processamento da unidade de densificação;
IV - capacidades mínima e máxima de processamento da planta de geração de bioenergia;
V - comprimento máximo do ramal de transmissão de energia elétrica.

• **Cana-de-açúcar:** a principal ameaça à hegemonia do programa brasileiro de produção de etanol de cana-de-açúcar é o rápido e significativo avanço do etanol de segunda geração – o etanol celulósico. O Brasil poderá perder toda sua vantagem competitiva, uma vez que qualquer biomassa celulósica, inclusive a cana-de-açúcar e o milho, servirá de matéria-prima. Os Estados Unidos e Canadá vêm investindo maciçamente na construção

de biorrefinarias de celulose (FIGURA 138) e em tecnologias para produção de células de combustível a etanol. Esta última põe fim aos problemas de infraestrutura para produção, distribuição e armazenamento do hidrogênio para uso automotivo. Ao dispor de uma rede de postos de combustíveis para a distribuição de etanol, abrangendo todo o país, o Brasil já tem, indiretamente, resolvido, de forma econômica e segura, o problema da logística de distribuição de hidrogênio.

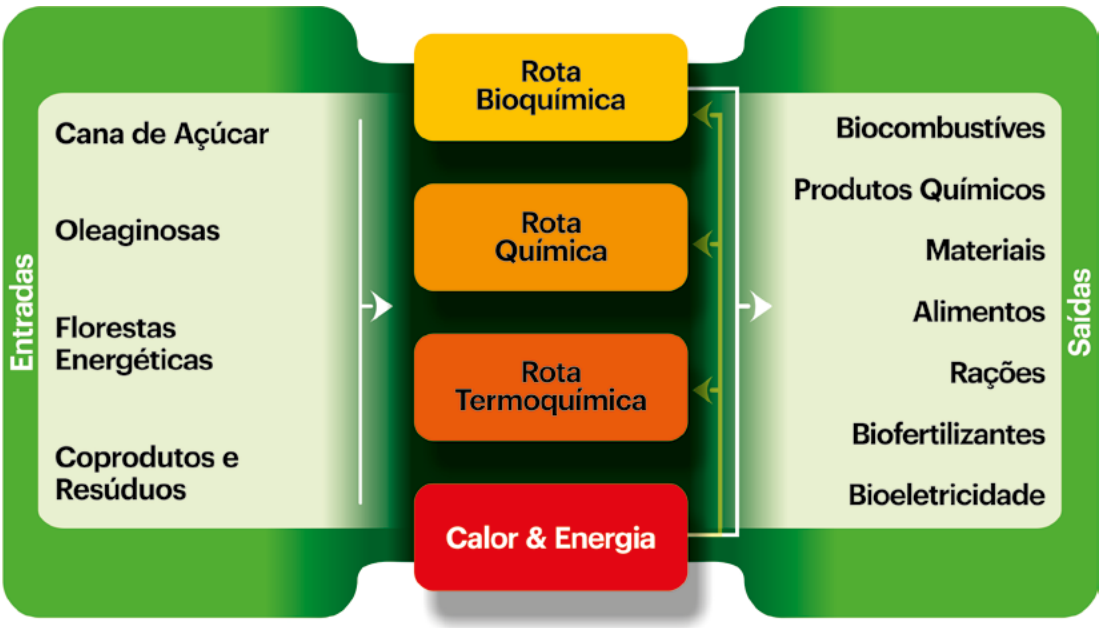


Figura 138 - Visão conceitual brasileira de biorrefinaria (Fonte: VAZ, 2011).

• **Biodiesel de fontes lipídicas:** o Programa Nacional de Produção de uso do Biodiesel (PNPB) foi concebido com um forte viés social, visando ao fortalecimento da agricultura familiar, principalmente a do semiárido nordestino, que ficaria encarregada do cultivo de oleaginosas para produção de biodiesel. Entretanto, a viabilidade econômica do biodiesel produzido a partir de culturas como mamona, girassol, canola, pinhão manso, dendê e macaúba ainda depende essencialmente de pesquisas e avanços tecnológicos. Atualmente, as principais matérias-primas utilizadas no Brasil são a soja e o sebo de boi, cuja produção está a cargo de grandes empresários. Os estados do Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso e São Paulo respondem por mais de 80% da produção de oleaginosas e do volume produzido de biodiesel, o que aponta para uma elevada disparidade regional, contrariando as expectativas originais do PNPB. A baixa oferta de matéria prima no Nordeste resulta frequentemente na quebra de contratos entre os pequenos agricultores e as indústrias. Assim, para viabilizar a produção de biodiesel nessa região, as grandes indústrias ali instaladas acabam tendo que comprar a soja e óleo de soja produzidos no Centro-Oeste. Outro fator agravante é o melhor preço obtido pelos agricultores com a

comercialização da mamona para as indústrias de lubrificantes e farmacêutica, que pagam o triplo do valor pago pelas biorrefinarias (SANTOS e WEHRMANN, 2010). Como estratégia para incrementar a demanda de biodiesel, os empresários do setor e lideranças políticas pressionam para elevar a adição do biodiesel ao diesel, passando gradualmente dos atuais 5% para até 20% ao longo dos próximos anos. À semelhança do que ocorre com o etanol, tal fato só reforça a falta de competitividade econômica do biodiesel frente à sua versão fóssil.

• **Resíduos agropecuários e industriais:** no que tange aos resíduos da agricultura e da pecuária, os desafios – e suas soluções – assemelham-se àqueles enfrentados pelas fontes de biomassa florestal, caracterizando-se por elevada dispersão geográfica e baixa densidade energética. O grande desafio deste grupo refere-se ao aproveitamento de esgotos urbanos para fins energéticos.

6.2 PERSPECTIVAS

Ao completar uma década de existência, os resultados do Plano Nacional de Produção e uso do Biodiesel não deixam dúvidas acerca do sucesso do segmento industrial, contrapondo-se ao visível fracasso da inserção social no campo e da frustação do aumento da competividade do agronegócio familiar. Este quadro é agravado pelos atrasos no desenvolvimento e consolidação de novas culturas oleaginosas mais produtivas que a soja.

As intensas e rápidas mudanças no panorama energético internacional apontam para o firme propósito de as principais economias elevarem significativamente a participação de fontes renováveis de energia limpa em suas matrizes energéticas, como forma de mitigarem os efeitos deletérios do aquecimento global e das mudanças climáticas. Inicialmente, isto pode parecer uma oportunidade ímpar para o crescimento e consolidação do Brasil como grande fornecedor mundial de biocombustíveis, dadas suas vantagens competitivas, como por exemplo, grande disponibilidade de área, condições edafoclimáticas adequadas e mão-de-obra barata.

Entretanto, o investimento maciço dos governos dos Estados Unidos e da União Europeia em pesquisas para viabilizar comercialmente a tecnologia de hidrólise enzimática de celulose sinaliza uma nova era na produção de etanol – o de segunda geração. Esse etanol lignocelulósico poderá ser então produzido a partir de qualquer biomassa celulósica, destacando-se as imensas lavouras de milho norte americanas. Acabam-se, assim, as atuais vantagens competitivas do Brasil quanto à produção de bioenergia (GAZZONI, 2008).

Por fim, o domínio do setor de agroenergia em escala mundial estará nas mãos de quem dominar a tecnologia mais competitiva para conversão de biomassa genérica em energia.

Potencial energético por município de Minas Gerais

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Abadia dos Dourados	2,4	0,0	0,0	619,3	126,0	0,0	2.373,5	90,7	157,2	6,5	36,6	3.412,2	3,4
Abaeté	0,0	160,7	15,7	541,6	12,8	0,0	3.945,2	79,2	80,8	21,8	115,2	4.972,8	5,0
Abre Campo	160,6	0,0	0,0	155,3	0,0	0,0	803,5	27,5	327,6	12,7	67,1	1.554,2	1,6
Acaiaca	0,1	0,0	0,0	43,2	0,0	0,0	187,3	9,0	156,6	3,7	19,8	419,8	0,4
Açucena	1,5	0,0	0,0	34,7	0,0	0,0	1.637,2	110,2	54,2	9,3	49,2	1.896,3	1,9
Água Boa	70,1	0,0	0,0	176,9	0,0	0,0	2.334,6	45,8	77,9	13,4	71,0	2.789,7	2,8
Água Comprida	0,0	17.511,7	1.713,4	734,9	677,7	0,0	501,1	152,0	36,8	1,9	10,1	21.339,4	21,3
Aguanil	41,7	0,0	0,0	433,4	0,0	0,0	588,8	13,3	8,0	4,1	21,5	1.110,8	1,1
Águas Formosas	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	2.180,4	16,0	20,6	17,9	94,6	2.332,4	2,3
Águas Vermelhas	10,4	0,0	0,0	14,8	0,0	0,0	432,6	1,5	7,0	12,5	66,0	544,8	0,5
Aimorés	84,5	0,0	0,0	505,4	0,0	0,0	4.065,7	24,9	40,5	23,7	125,6	4.870,2	4,9
Aiuruoca	0,9	0,0	0,0	326,9	0,0	0,0	933,5	26,8	63,8	5,7	30,4	1.388,1	1,4
Alagoa	0,0	0,0	0,0	42,2	0,0	0,0	276,4	3,5	7,1	2,5	13,5	345,2	0,3
Albertina	49,3	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	82,7	2,5	7,1	2,8	14,9	166,7	0,2
Além Paraíba	0,0	0,0	0,0	20,3	0,0	0,0	1.191,5	6,5	15,4	33,0	174,9	1.441,6	1,4
Alfenas	474,8	1.808,4	176,9	2.366,8	58,3	0,0	1.505,9	120,9	81,8	73,1	387,0	7.054,0	7,1
Alfredo Vasconcelos	0,0	0,0	0,0	28,8	0,0	0,0	189,3	232,5	19,1	6,2	32,8	508,7	0,5
Almenara	11,0	0,0	0,0	26,7	0,0	0,0	3.206,1	36,0	48,6	38,3	203,0	3.569,7	3,6
Alpercata	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	717,6	74,3	15,6	6,9	36,6	859,5	0,9
Alpinópolis	238,6	792,2	77,5	999,2	36,0	0,0	1.059,0	122,4	17,4	18,2	96,4	3.457,1	3,5
Alterosa	133,7	464,4	45,4	1.119,4	0,0	0,0	819,3	109,8	42,7	13,4	70,8	2.818,9	2,8
Alto Caparaó	154,9	0,0	0,0	18,5	0,0	0,0	53,9	1,0	2,6	5,3	28,1	264,3	0,3
Alto Jequitibá	260,5	0,0	0,0	127,5	0,0	0,0	63,7	4,7	3,1	7,9	41,6	508,9	0,5
Alto Rio Doce	0,5	0,0	0,0	631,6	0,0	0,0	660,0	15,8	59,0	10,9	57,6	1.435,4	1,4
Alvarenga	23,4	0,0	0,0	101,5	0,0	0,0	591,1	6,8	6,8	3,9	20,7	754,3	0,8
Alvinópolis	0,4	0,0	0,0	249,1	0,0	0,0	717,3	10,7	106,5	14,4	76,3	1.174,5	1,2
Alvorada de Minas	0,7	0,0	0,0	29,9	0,0	0,0	594,2	9,0	17,9	3,4	17,9	673,0	0,7
Amparo do Serra	5,9	80,3	7,9	59,2	0,0	0,0	301,3	17,5	210,4	4,6	24,2	711,2	0,7
Andradas	347,9	0,0	0,0	440,0	0,0	0,0	935,2	131,3	119,6	37,3	197,4	2.208,8	2,2
Andrelândia	7,2	0,0	0,0	949,1	4,5	0,0	967,2	19,8	43,7	11,5	61,1	2.064,1	2,1
Angelândia	118,9	0,0	0,0	38,4	0,0	0,0	98,0	19,6	14,5	7,8	41,5	338,9	0,3
Antônio Carlos	0,0	0,0	0,0	87,7	0,0	0,0	660,9	171,0	22,5	10,7	56,6	1.009,4	1,0
Antônio Dias	2,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0	491,2	14,9	23,0	8,9	47,2	596,4	0,6
Antônio Prado de Minas	2,3	0,0	0,0	73,7	0,0	0,0	215,4	7,2	9,1	1,5	8,2	317,4	0,3
Araçaí	0,0	0,0	0,0	20,1	0,0	0,0	370,2	25,9	3,0	2,2	11,5	432,9	0,4
Aracitaba	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	227,5	4,4	9,4	1,9	10,3	262,4	0,3
Araçuaí	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0	0,0	1.330,3	19,3	73,2	34,4	182,3	1.661,0	1,7
Araguari	636,8	5.901,9	577,5	7.409,0	1.887,8	0,0	6.591,6	1.318,2	1.212,8	107,8	571,0	26.214,3	26,2
Arantina	0,0	0,0	0,0	87,3	0,0	0,0	74,0	2,4	5,5	2,7	14,1	186,0	0,2

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Araponga	154,3	0,0	0,0	53,8	0,0	0,0	205,8	30,4	35,5	7,9	41,6	529,2	0,5
Araporã	0,0	7.177,0	702,2	171,7	135,3	0,0	286,5	0,8	10,6	6,2	32,8	8.523,2	8,5
Arapuá	27,0	0,0	0,0	80,1	0,0	0,0	716,5	2,2	14,6	2,7	14,1	857,1	0,9
Araújos	0,0	0,0	0,0	154,4	0,0	0,0	930,4	50,8	108,7	8,2	43,4	1.296,0	1,3
Araxá	103,6	680,7	66,6	1.951,6	522,8	266,4	2.872,4	156,2	44,5	95,3	504,6	7.264,7	7,3
Arceburgo	49,9	1.855,9	181,6	201,2	0,0	0,0	516,1	206,1	29,9	9,7	51,2	3.101,6	3,1
Arcos	0,0	2.800,3	274,0	1.221,3	0,0	0,0	1.345,8	52,3	45,7	36,5	193,2	5.969,2	6,0
Areado	126,6	1.695,7	165,9	560,1	0,0	0,0	713,5	19,2	36,3	13,7	72,6	3.403,5	3,4
Argirita	0,1	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	320,6	28,8	74,6	2,7	14,0	450,9	0,5
Aricanduva	13,4	0,0	0,0	28,7	0,0	0,0	261,2	18,9	10,9	4,8	25,2	362,9	0,4
Arinos	0,0	0,0	0,0	1.223,9	541,5	0,0	5.081,1	33,9	74,7	16,8	89,1	7.061,0	7,1
Astolfo Dutra	5,3	0,0	0,0	44,4	0,0	0,0	328,7	103,6	7,8	12,9	68,5	571,3	0,6
Ataléia	1,3	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0	5.550,1	26,7	63,0	12,8	67,9	5.737,0	5,7
Augusto de Lima	0,3	62,9	6,2	76,3	0,0	0,0	1.325,4	38,8	8,7	4,6	24,6	1.547,8	1,5
Baependi	48,4	0,0	0,0	664,7	0,0	0,0	1.338,5	35,5	67,6	17,8	94,1	2.266,5	2,3
Baldim	0,0	0,0	0,0	449,1	0,0	0,0	696,6	410,1	20,4	7,4	39,4	1.623,1	1,6
Bambuí	158,4	7.278,8	712,2	3.185,3	139,8	479,6	3.314,0	54,4	115,6	22,1	116,9	15.577,2	15,6
Bandeira	2,3	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	905,4	19,6	50,7	4,6	24,4	1.015,2	1,0
Bandeira do Sul	14,5	0,0	0,0	86,3	0,0	0,0	89,5	3,0	8,1	5,3	27,9	234,5	0,2
Barão de Cocais	0,0	0,0	0,0	27,8	0,0	0,0	140,3	0,4	2,4	29,2	154,5	354,6	0,4
Barão de Monte Alto	0,1	0,0	0,0	21,8	0,0	0,0	568,4	6,8	10,9	5,2	27,7	640,9	0,6
Barbacena	0,0	0,0	0,0	876,1	0,0	0,0	1.144,0	699,8	171,6	125,3	663,6	3.680,4	3,7
Barra Longa	0,3	0,0	0,0	97,4	0,0	0,0	689,5	21,0	26,5	5,3	27,9	867,9	0,9
Barroso	0,0	0,0	0,0	51,0	0,0	0,0	123,9	3,8	4,5	19,2	101,6	303,9	0,3
Bela Vista de Minas	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	73,2	2,3	9,1	9,6	50,8	152,0	0,2
Belmiro Braga	0,0	0,0	0,0	30,7	0,0	0,0	715,2	6,8	8,6	3,2	17,1	781,7	0,8
Belo Horizonte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	0,0	0,0	2.319,2	12.279,0	14.629,4	14,6
Belo Oriente	0,0	0,0	0,0	92,4	0,0	0,0	316,6	7,9	14,1	23,9	126,5	581,4	0,6
Belo Vale	0,5	0,0	0,0	58,7	0,0	0,0	598,4	17,2	23,8	7,2	38,2	744,2	0,7
Berilo	2,5	0,0	0,0	56,3	0,0	0,0	384,4	33,3	41,5	11,4	60,5	590,0	0,6
Berizal	5,5	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	307,9	5,5	11,2	4,3	22,9	363,8	0,4
Bertópolis	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	1.298,1	8,1	18,3	4,3	22,8	1.354,3	1,4
Betim	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	446,0	9,9	12,5	389,7	2.063,3	2.928,9	2,9
Bias Fortes	0,0	0,0	0,0	61,8	0,0	0,0	444,7	4,8	15,1	3,4	17,8	547,5	0,5
Bicas	0,3	0,0	0,0	9,3	0,0	0,0	351,9	10,9	24,6	13,4	70,7	481,1	0,5
Biquinhas	5,8	0,0	0,0	69,6	0,0	0,0	978,8	21,1	32,0	2,4	12,8	1.122,7	1,1
Boa Esperança	601,4	0,0	0,0	3.815,5	30,9	0,0	1.188,4	40,0	87,1	37,3	197,4	5.998,0	6,0
Bocaina de Minas	0,0	0,0	0,0	29,9	0,0	0,0	367,6	10,6	21,2	4,8	25,3	459,3	0,5
Bocaiúva	8,3	0,0	0,0	316,0	0,0	518,0	3.209,2	68,6	82,0	46,0	243,7	4.491,9	4,5
Bom Despacho	0,0	1.647,1	161,2	814,0	95,8	0,0	3.212,8	873,4	559,0	45,8	242,6	7.651,6	7,7
Bom Jardim de Minas	0,1	0,0	0,0	30,2	0,0	706,2	230,9	6,3	16,5	6,1	32,5	1.028,6	1,0

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Bom Jesus da Penha	121,7	0,0	0,0	1.616,7	132,5	0,0	340,6	67,3	52,6	3,9	20,4	2.355,7	2,4
Bom Jesus do Amparo	3,3	0,0	0,0	75,7	0,0	0,0	391,0	298,7	12,0	5,5	29,2	815,5	0,8
Bom Jesus do Galho	47,6	0,0	0,0	104,6	0,0	0,0	912,3	17,0	4,8	14,3	75,7	1.176,4	1,2
Bom Repouso	0,1	0,0	0,0	214,2	0,0	0,0	641,2	7,1	23,9	9,9	52,6	949,1	0,9
Bom Sucesso	99,2	0,0	0,0	432,9	0,0	0,0	1.530,0	11,2	13,7	16,5	87,4	2.190,7	2,2
Bonfim	0,0	0,0	0,0	52,3	0,0	0,0	437,5	4,2	6,4	6,5	34,3	541,1	0,5
Bonfinópolis de Minas	57,3	0,0	0,0	4.211,1	1.556,5	0,0	1.978,8	19,4	62,8	5,3	28,3	7.919,6	7,9
Bonito de Minas	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	835,4	21,5	17,7	10,0	52,7	946,9	0,9
Borda da Mata	26,1	0,0	0,0	602,6	0,0	0,0	1.009,1	24,2	24,0	17,4	92,2	1.795,6	1,8
Botelhos	255,3	0,0	0,0	472,1	1,4	0,0	656,3	17,6	108,5	14,1	74,9	1.600,0	1,6
Botumirim	7,7	0,0	0,0	39,4	0,0	284,6	379,6	39,7	36,4	6,1	32,0	825,4	0,8
Brás Pires	0,1	0,0	0,0	113,7	0,0	0,0	165,6	19,1	18,9	4,2	22,4	344,1	0,3
Brasilândia de Minas	0,0	1.384,9	135,5	422,5	57,5	0,0	2.767,7	17,7	60,8	14,7	77,8	4.939,0	4,9
Brasília de Minas	0,1	0,0	0,0	50,5	0,0	0,0	1.803,9	58,0	74,7	30,1	159,5	2.176,9	2,2
Braúnas	0,0	0,0	0,0	38,4	0,0	0,0	547,2	26,7	34,4	4,6	24,5	675,9	0,7
Brazópolis	40,7	0,0	0,0	225,6	0,0	0,0	983,8	16,0	24,4	13,8	72,8	1.377,0	1,4
Brumadinho	0,0	0,0	0,0	48,6	0,0	0,0	573,3	418,6	406,5	35,4	187,5	1.669,9	1,7
Bueno Brandão	61,5	0,0	0,0	104,7	0,0	0,0	784,5	23,3	36,8	10,4	54,9	1.075,9	1,1
Buenópolis	0,0	0,0	0,0	532,3	0,0	0,0	1.307,6	26,4	20,0	9,8	51,7	1.947,8	1,9
Bugre	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	305,7	4,3	20,2	3,8	20,2	366,7	0,4
Buritis	28,5	0,0	0,0	12.840,1	6.214,2	0,0	4.271,8	35,3	128,3	22,6	119,8	23.660,7	23,7
Buritizeiro	92,3	0,0	0,0	3.281,9	1.192,1	616,4	4.167,9	30,2	369,8	26,1	138,0	9.914,8	9,9
Cabeceira Grande	12,1	0,0	0,0	3.297,3	783,0	0,0	1.772,9	9,4	18,5	6,4	33,7	5.933,3	5,9
Cabo Verde	424,1	349,3	34,2	684,3	7,9	0,0	746,9	140,0	70,0	13,2	69,9	2.539,8	2,5
Cachoeira da Prata	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	103,4	5,0	8,0	3,4	18,2	139,1	0,1
Cachoeira de Minas	55,9	0,0	0,0	135,5	0,0	0,0	801,7	18,8	112,9	10,7	56,7	1.192,2	1,2
Cachoeira de Pajeú	0,7	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	612,3	3,6	7,7	8,7	46,1	685,3	0,7
Cachoeira Dourada	0,0	844,5	82,6	884,8	561,8	0,0	408,9	1,8	1,8	2,5	13,1	2.801,7	2,8
Caetanópolis	0,0	0,0	0,0	60,6	0,0	0,0	203,6	32,4	9,6	10,4	55,1	371,7	0,4
Caeté	2,1	0,0	0,0	24,9	0,0	0,0	243,9	4,6	12,7	40,7	215,3	544,1	0,5
Caiana	89,3	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	137,0	3,3	7,7	5,0	26,4	280,7	0,3
Cajuri	27,5	0,0	0,0	195,3	0,0	0,0	92,6	180,8	20,8	3,8	20,1	540,8	0,5
Caldas	24,2	0,0	0,0	1.258,8	0,0	0,0	1.831,3	33,0	79,8	13,3	70,7	3.311,0	3,3
Camacho	45,8	0,0	0,0	200,7	0,0	0,0	294,3	13,2	10,6	2,8	15,1	582,4	0,6
Camanducaia	0,0	0,0	0,0	110,7	0,0	0,0	662,7	14,4	24,8	20,3	107,5	940,4	0,9
Cambuí	0,2	0,0	0,0	117,7	0,0	0,0	669,9	12,7	15,6	26,7	141,3	984,1	1,0
Cambuquira	168,7	0,0	0,0	901,7	0,3	0,0	464,8	63,3	23,5	12,0	63,7	1.698,0	1,7
Campanário	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	892,8	7,3	26,6	3,5	18,3	959,5	1,0
Campanha	142,5	0,0	0,0	887,0	35,1	0,0	457,0	20,6	21,9	15,3	80,8	1.660,2	1,7
Campestre	393,3	0,0	0,0	1.365,9	20,7	0,0	983,2	50,6	102,0	19,8	104,6	3.040,2	3,0
Campina Verde	0,0	8.221,3	804,4	354,1	113,4	0,0	13.159,6	151,1	114,4	18,5	98,0	23.034,8	23,0

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Campo Azul	0,0	0,0	0,0	16,8	0,0	0,0	620,4	16,1	36,8	3,6	18,8	712,6	0,7
Campo Belo	100,9	0,0	0,0	720,6	0,0	0,0	1.739,2	43,9	11,9	50,1	265,1	2.931,7	2,9
Campo do Meio	138,4	0,0	0,0	941,5	6,8	0,0	211,7	9,7	13,2	10,9	58,0	1.390,3	1,4
Campo Florido	0,1	21.813,0	2.134,3	1.912,4	1.028,4	0,0	2.576,5	103,7	85,8	7,2	38,0	29.699,3	29,7
Campos Altos	461,8	0,0	0,0	2.477,7	263,7	0,0	883,3	8,4	3,2	14,1	74,7	4.187,0	4,2
Campos Gerais	605,6	0,0	0,0	1.638,9	4,1	0,0	1.080,2	52,3	58,5	26,7	141,5	3.607,9	3,6
Cana Verde	44,9	0,0	0,0	265,9	0,0	0,0	652,5	17,0	10,7	5,3	28,0	1.024,3	1,0
Canaã	62,2	0,0	0,0	201,7	0,0	0,0	210,2	946,1	44,3	4,3	23,0	1.491,9	1,5
Canápolis	0,0	17.616,4	1.723,6	525,4	440,2	0,0	1.955,1	57,6	157,1	11,1	58,9	22.545,4	22,5
Candeias	216,9	0,0	0,0	1.379,2	0,0	0,0	1.519,8	29,6	18,9	14,0	73,9	3.252,3	3,3
Cantagalo	0,2	0,0	0,0	237,0	0,0	0,0	300,6	11,6	8,8	4,1	21,9	584,3	0,6
Caparaó	130,7	0,0	0,0	28,0	0,0	0,0	77,0	1,3	3,0	5,0	26,7	271,8	0,3
Capela Nova	12,3	0,0	0,0	198,3	0,0	0,0	137,4	7,4	15,4	4,4	23,5	398,7	0,4
Capelinha	185,2	0,0	0,0	152,9	0,0	1.408,2	645,6	36,6	32,6	34,7	183,7	2.679,5	2,7
Capetinga	143,5	221,1	21,6	311,9	0,0	0,0	603,5	79,5	13,1	6,6	35,0	1.436,0	1,4
Capim Branco	0,0	0,0	0,0	31,0	0,0	0,0	282,1	2,2	7,7	8,9	46,9	378,9	0,4
Capinópolis	0,0	4.752,6	465,0	2.704,9	2.104,6	0,0	1.526,9	9,1	132,9	14,9	79,1	11.790,0	11,8
Capitão Andrade	0,0	0,0	0,0	20,5	0,0	0,0	961,5	11,6	24,1	4,9	26,2	1.048,9	1,0
Capitão Enéas	7,9	0,0	0,0	112,2	0,0	0,0	2.298,2	29,9	36,4	14,0	74,0	2.572,6	2,6
Capitólio	83,4	0,0	0,0	407,5	0,0	0,0	788,2	64,8	70,2	8,0	42,2	1.464,2	1,5
Caputira	161,5	0,0	0,0	74,2	0,0	0,0	174,7	15,2	26,6	8,7	46,0	506,8	0,5
Caraí	41,8	0,0	0,0	38,7	0,0	0,0	850,8	26,9	46,1	21,8	115,7	1.141,9	1,1
Caranaíba	0,3	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	186,6	2,3	5,3	3,1	16,2	307,5	0,3
Carandaí	0,0	0,0	0,0	2.157,2	15,6	0,0	519,8	55,1	16,6	23,3	123,2	2.910,9	2,9
Carangola	120,4	0,0	0,0	38,3	0,0	0,0	614,1	10,0	12,9	30,9	163,7	990,3	1,0
Caratinga	231,7	0,0	0,0	257,2	0,0	0,0	1.234,5	108,3	26,1	84,3	446,2	2.388,4	2,4
Carbonita	7,9	0,0	0,0	56,1	0,0	651,6	223,1	21,4	14,1	8,8	46,5	1.029,5	1,0
Careaçu	39,1	0,0	0,0	143,8	0,0	0,0	568,1	9,6	15,6	6,2	32,8	815,2	0,8
Carlos Chagas	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	11.189,8	24,3	63,3	18,3	97,0	11.396,4	11,4
Carmésia	0,5	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	202,7	3,2	6,4	2,4	12,8	241,8	0,2
Carmo da Cachoeira	481,3	0,0	0,0	1.135,2	48,3	0,0	559,6	6,2	14,9	11,4	60,2	2.317,2	2,3
Carmo da Mata	33,4	264,1	25,8	433,3	1,6	0,0	1.105,6	32,3	60,1	10,6	56,3	2.023,1	2,0
Carmo de Minas	153,4	0,0	0,0	370,5	23,4	0,0	807,9	14,9	16,2	13,6	72,0	1.471,8	1,5
Carmo do Cajuru	0,2	0,0	0,0	294,2	0,0	0,0	1.192,2	710,3	48,1	20,2	107,2	2.372,4	2,4
Carmo do Paranaíba	527,2	0,0	0,0	1.696,9	25,1	0,0	4.349,7	71,2	413,1	28,4	150,6	7.262,2	7,3
Carmo do Rio Claro	427,3	339,2	33,2	2.629,8	94,7	0,0	1.535,1	223,0	117,4	19,7	104,5	5.524,1	5,5
Carmópolis de Minas	14,3	0,0	0,0	271,8	0,0	0,0	1.067,3	32,8	47,9	17,4	91,9	1.543,3	1,5
Carneirinho	0,0	7.266,6	711,0	114,3	0,0	0,0	8.610,1	28,1	59,8	9,3	49,0	16.848,0	16,8
Carrancas	1,5	0,0	0,0	756,7	52,4	0,0	761,2	5,1	20,5	3,8	20,0	1.621,3	1,6
Carvalhópolis	71,0	0,0	0,0	67,3	0,0	0,0	175,1	25,0	23,7	3,3	17,4	382,7	0,4
Carvalhos	0,0	0,0	0,0	126,8	0,0	0,0	455,2	8,8	38,7	4,3	22,6	656,5	0,7

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Casa Grande	2,2	0,0	0,0	423,1	0,0	0,0	225,8	1,9	7,1	2,1	11,3	673,6	0,7
Cascalho Rico	30,5	0,0	0,0	581,9	133,2	0,0	1.064,8	284,4	4,7	2,8	14,9	2.117,2	2,1
Cássia	173,2	0,0	0,0	1.610,5	22,0	0,0	2.191,7	318,0	22,9	16,6	88,1	4.443,0	4,4
Cataguases	0,3	0,0	0,0	34,1	0,0	0,0	1.147,1	149,2	162,5	68,8	364,5	1.926,5	1,9
Catas Altas	0,1	0,0	0,0	18,7	0,0	244,0	69,1	2,2	0,9	4,9	25,8	365,7	0,4
Catas Altas da Noruega	0,1	0,0	0,0	91,7	0,0	0,0	59,5	3,0	29,2	3,4	17,8	204,6	0,2
Catuji	10,8	0,0	0,0	9,7	0,0	0,0	335,6	15,1	30,0	6,1	32,5	439,9	0,4
Catuti	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	0,0	405,1	13,9	17,5	4,8	25,2	475,0	0,5
Caxambu	7,0	0,0	0,0	68,1	0,0	0,0	213,6	6,0	15,0	20,5	108,5	438,8	0,4
Cedro do Abaeté	0,0	0,0	0,0	47,3	0,0	0,0	371,5	3,3	4,4	1,1	5,9	433,5	0,4
Central de Minas	2,2	0,0	0,0	30,4	0,0	0,0	689,9	6,2	9,2	6,5	34,6	779,0	0,8
Centralina	1,0	4.460,5	436,4	961,7	632,5	0,0	716,1	32,2	18,2	9,8	51,8	7.320,2	7,3
Chácara	0,1	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	330,2	2,5	12,8	2,8	15,0	366,9	0,4
Chalé	83,8	0,0	0,0	86,6	0,0	0,0	424,5	13,4	4,3	5,4	28,4	646,4	0,6
Chapada do Norte	0,2	0,0	0,0	36,4	0,0	0,0	210,9	36,1	40,7	14,5	76,5	415,3	0,4
Chapada Gaúcha	0,8	0,0	0,0	61,8	1.039,5	0,0	867,2	17,9	42,6	11,8	62,2	2.103,8	2,1
Chiador	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	425,1	7,1	20,8	2,6	13,7	474,2	0,5
Cipotânea	1,0	0,0	0,0	218,8	0,0	0,0	126,8	5,8	19,1	6,3	33,5	411,4	0,4
Claraval	94,9	0,0	0,0	314,8	4,0	0,0	433,3	20,9	12,4	4,5	23,6	908,3	0,9
Claro dos Poções	0,1	0,0	0,0	90,3	0,0	0,0	1.377,4	57,6	59,8	7,2	38,3	1.630,7	1,6
Cláudio	15,3	746,4	73,0	412,4	2,4	0,0	1.338,8	61,2	329,1	25,9	137,1	3.141,6	3,1
Coimbra	17,6	0,0	0,0	259,1	0,0	0,0	210,6	781,5	288,3	6,9	36,7	1.600,7	1,6
Coluna	0,6	0,0	0,0	229,0	0,0	0,0	635,0	22,2	40,7	8,5	44,8	980,6	1,0
Comendador Gomes	0,0	3.394,8	332,2	658,5	45,7	0,0	3.213,8	189,2	39,7	2,9	15,3	7.892,1	7,9
Comercinho	1,1	0,0	0,0	11,4	0,0	0,0	706,3	3,4	10,3	7,1	37,7	777,4	0,8
Conceição da Aparecida	323,5	0,0	0,0	359,5	46,2	0,0	668,6	66,9	35,2	9,5	50,5	1.559,9	1,6
Conceição da Barra de Minas	11,7	0,0	0,0	355,5	8,6	0,0	409,9	12,0	14,0	3,7	19,8	835,2	0,8
Conceição das Alagoas	0,0	38.454,1	3.762,5	2.643,0	2.040,5	0,0	1.482,8	181,2	18,5	24,4	129,1	48.736,0	48,7
Conceição das Pedras	63,0	0,0	0,0	79,4	0,0	0,0	233,7	8,4	26,2	2,6	13,9	427,3	0,4
Conceição de Ipanema	22,2	0,0	0,0	25,8	0,0	0,0	444,0	11,0	10,9	4,3	22,6	540,6	0,5
Conceição do Mato Dentro	3,3	0,0	0,0	119,5	0,0	0,0	1.217,1	20,5	31,0	16,8	88,7	1.496,9	1,5
Conceição do Pará	0,0	0,0	0,0	78,6	0,0	0,0	500,0	684,3	185,6	5,1	26,8	1.480,4	1,5
Conceição do Rio Verde	129,1	0,0	0,0	1.733,3	45,6	0,0	874,3	5,6	10,5	12,6	66,8	2.877,8	2,9
Conceição dos Ouros	7,5	0,0	0,0	117,7	0,0	0,0	453,6	13,3	34,0	10,5	55,5	692,1	0,7
Cônego Marinho	0,0	0,0	0,0	54,9	0,0	0,0	505,9	16,3	17,8	7,0	37,2	639,1	0,6
Confins	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	34,8	0,0	0,0	6,0	32,0	76,2	0,1
Congonhal	11,3	0,0	0,0	117,3	0,0	0,0	621,0	18,6	23,5	10,7	56,6	859,1	0,9
Congonhas	0,4	0,0	0,0	56,9	0,0	0,0	104,0	1,3	11,6	49,2	260,6	484,1	0,5
Congonhas do Norte	2,7	0,0	0,0	73,1	0,0	0,0	190,9	9,9	13,5	4,7	25,1	319,9	0,3
Conquista	0,3	15.716,7	1.537,8	2.709,0	592,5	0,0	950,7	77,6	17,3	6,4	33,8	21.642,1	21,6
Conselheiro Lafaiete	0,0	0,0	0,0	144,2	0,0	0,0	507,5	5,1	44,6	116,7	617,6	1.435,7	1,4

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Conselheiro Pena	200,8	0,0	0,0	665,1	0,0	0,0	2.979,1	19,7	48,6	21,4	113,3	4.048,0	4,0
Consolação	0,1	0,0	0,0	31,1	0,0	0,0	300,9	3,7	3,9	1,7	8,8	350,2	0,4
Contagem	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,8	0,0	0,0	603,3	3.194,0	3.865,1	3,9
Coqueiral	237,6	0,0	0,0	673,9	13,6	0,0	547,3	6,8	10,0	8,7	46,1	1.544,0	1,5
Coração de Jesus	0,1	0,0	0,0	466,8	0,0	0,0	2.843,0	115,7	104,8	24,9	132,0	3.687,5	3,7
Cordisburgo	0,0	0,0	0,0	144,2	0,0	0,0	1.272,5	263,9	44,5	8,3	44,0	1.777,5	1,8
Cordislândia	66,9	0,0	0,0	866,1	14,4	0,0	389,4	4,7	4,4	3,3	17,5	1.366,7	1,4
Corinto	0,0	0,0	0,0	414,1	0,0	0,0	2.640,0	58,3	9,9	22,5	119,2	3.264,1	3,3
Coroaci	8,5	0,0	0,0	56,1	0,0	0,0	718,0	21,1	19,1	9,6	50,6	882,9	0,9
Coromandel	454,0	0,0	0,0	8.695,7	3.784,9	0,0	4.938,1	57,4	822,3	26,3	139,1	18.917,8	18,9
Coronel Fabriciano	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	47,2	3,8	4,6	101,4	536,7	694,9	0,7
Coronel Murta	0,1	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0	542,3	6,7	17,7	8,7	45,9	630,6	0,6
Coronel Pacheco	0,0	0,0	0,0	52,3	0,0	0,0	366,9	13,7	22,3	2,9	15,2	473,4	0,5
Coronel Xavier Chaves	1,6	0,0	0,0	177,5	2,2	0,0	185,2	8,2	8,2	3,2	16,9	403,0	0,4
Córrego Danta	18,9	0,0	0,0	106,0	0,0	0,0	1.190,2	29,5	29,5	3,1	16,5	1.393,8	1,4
Córrego do Bom Jesus	0,0	0,0	0,0	101,8	0,0	0,0	306,5	7,8	7,8	3,5	18,6	446,0	0,4
Córrego Fundo	12,6	0,0	0,0	230,7	2,4	692,5	201,5	21,6	21,6	5,8	30,5	1.219,2	1,2
Córrego Novo	3,9	0,0	0,0	68,2	0,0	0,0	364,4	7,6	7,6	2,8	14,7	469,1	0,5
Couto de Magalhães de Minas	0,2	0,0	0,0	24,6	0,0	255,6	97,3	8,0	8,0	4,1	21,6	419,4	0,4
Crisólita	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	2.669,0	15,3	15,3	6,1	32,1	2.747,2	2,7
Cristais	203,9	0,0	0,0	1.469,9	0,0	0,0	1.341,9	24,7	24,7	11,5	60,8	3.137,5	3,1
Cristália	0,6	0,0	0,0	23,8	0,0	342,5	194,6	25,1	25,1	5,6	29,4	646,8	0,6
Cristiano Otoni	0,0	0,0	0,0	42,8	0,0	0,0	296,6	51,2	51,2	4,8	25,5	472,1	0,5
Cristina	39,4	0,0	0,0	142,7	0,0	0,0	847,7	13,3	13,3	9,7	51,2	1.117,4	1,1
Crucilândia	0,3	0,0	0,0	49,6	0,0	0,0	336,4	13,5	13,5	4,6	24,6	442,4	0,4
Cruzeiro da Fortaleza	43,3	0,0	0,0	806,1	128,7	0,0	872,1	9,7	9,7	3,8	20,3	1.893,8	1,9
Cruzília	8,7	0,0	0,0	1.464,6	0,0	0,0	917,4	12,2	12,2	14,2	75,4	2.504,7	2,5
Cuparaque	12,4	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0	617,7	3,9	3,9	4,6	24,3	676,0	0,7
Curral de Dentro	0,4	0,0	0,0	12,6	0,0	0,0	392,2	4,5	4,5	7,0	36,9	458,1	0,5
Curvelo	0,0	71,9	7,0	423,2	0,0	4.107,2	4.147,2	45,1	45,1	73,3	387,9	9.308,0	9,3
Datas	0,6	0,0	0,0	97,7	0,0	216,1	97,6	12,5	12,5	5,0	26,7	468,7	0,5
Delfim Moreira	0,0	0,0	0,0	36,7	0,0	0,0	528,9	31,6	31,6	7,6	40,1	676,5	0,7
Delfinópolis	10,8	4.820,8	471,7	1.871,4	347,9	0,0	1.485,4	41,6	41,6	6,6	35,0	9.132,8	9,1
Delta	0,0	3.456,0	338,1	165,6	77,7	0,0	166,3	143,0	143,0	9,0	47,4	4.546,1	4,5
Descoberto	0,2	0,0	0,0	9,7	0,0	0,0	449,8	33,7	33,7	4,6	24,6	556,2	0,6
Desterro de Entre Rios	2,6	0,0	0,0	420,1	0,0	0,0	446,4	16,9	16,9	6,8	35,7	945,4	0,9
Desterro do Melo	0,5	0,0	0,0	131,3	0,0	0,0	305,2	9,9	9,9	2,8	14,8	474,4	0,5
Diamantina	17,2	0,0	0,0	112,5	0,0	887,7	618,1	33,2	33,2	44,4	235,0	1.981,3	2,0
Diogo de Vasconcelos	0,7	0,0	0,0	213,6	0,0	0,0	193,1	4,5	4,5	3,6	19,1	439,2	0,4
Dionísio	2,4	0,0	0,0	69,6	0,0	0,0	493,4	6,2	6,2	7,7	40,9	626,5	0,6
Divinésia	3,9	0,0	0,0	43,0	0,0	0,0	135,2	142,6	142,6	3,2	16,8	487,4	0,5

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Divino	329,5	0,0	0,0	182,8	0,0	0,0	482,3	5,6	5,6	18,5	98,1	1.122,5	1,1
Divino das Laranjeiras	0,3	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	887,2	3,9	3,9	4,7	24,8	930,2	0,9
Divinolândia de Minas	0,4	0,0	0,0	41,8	0,0	0,0	197,1	5,8	5,8	6,9	36,7	294,6	0,3
Divinópolis	0,4	0,0	0,0	136,6	0,0	0,0	1.597,4	1.030,5	1.030,5	214,9	1.138,0	5.148,4	5,1
Divisa Alegre	0,9	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	33,4	3,1	3,1	6,0	32,0	84,6	0,1
Divisa Nova	63,3	680,8	66,6	218,4	8,5	0,0	623,7	15,2	15,2	5,6	29,6	1.726,7	1,7
Divisópolis	78,0	0,0	0,0	22,1	0,0	0,0	419,7	11,8	11,8	9,6	50,7	603,6	0,6
Dom Bosco	0,0	0,0	0,0	484,1	40,5	0,0	1.734,3	13,5	13,5	3,5	18,7	2.308,2	2,3
Dom Cavati	2,4	0,0	0,0	21,2	0,0	0,0	147,6	5,2	5,2	4,9	25,7	212,1	0,2
Dom Joaquim	0,1	0,0	0,0	55,0	0,0	0,0	481,7	11,5	11,5	4,3	22,5	586,6	0,6
Dom Silvério	0,2	0,0	0,0	58,0	0,0	0,0	416,8	4,6	4,6	4,9	26,1	515,3	0,5
Dom Viçoso	9,6	0,0	0,0	78,5	0,0	0,0	228,7	7,7	7,7	2,8	15,0	350,0	0,3
Dona Eusébia	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	165,9	77,0	77,0	6,0	31,7	367,0	0,4
Dores de Campos	0,0	0,0	0,0	22,9	0,0	0,0	99,2	2,3	2,3	9,3	49,0	184,8	0,2
Dores de Guanhães	0,5	0,0	0,0	25,6	0,0	0,0	562,5	9,0	9,0	4,9	26,0	637,4	0,6
Dores do Indaiá	3,0	0,0	0,0	322,7	0,0	0,0	2.959,1	38,1	38,1	12,9	68,2	3.442,0	3,4
Dores do Turvo	3,7	0,0	0,0	59,8	0,0	0,0	353,1	15,5	15,5	4,1	21,8	473,5	0,5
Doresópolis	7,1	36,6	3,6	89,7	0,0	0,0	362,7	43,7	43,7	1,4	7,5	595,9	0,6
Douradoquara	0,0	0,0	0,0	53,5	9,9	0,0	823,9	8,6	8,6	1,8	9,4	915,7	0,9
Durandé	223,4	0,0	0,0	117,7	0,0	0,0	204,2	12,8	12,8	7,2	38,4	616,5	0,6
Elói Mendes	319,3	0,0	0,0	650,5	0,0	0,0	1.240,6	81,0	81,0	25,4	134,4	2.532,3	2,5
Engenheiro Caldas	0,0	0,0	0,0	19,4	0,0	0,0	699,0	38,4	38,4	10,2	53,9	859,3	0,9
Engenheiro Navarro	0,1	0,0	0,0	83,3	0,0	0,0	1.165,7	17,0	17,0	6,8	36,0	1.325,8	1,3
Entre Folhas	9,0	0,0	0,0	57,5	0,0	0,0	144,9	2,8	2,8	5,0	26,4	248,3	0,2
Entre Rios de Minas	13,7	0,0	0,0	968,5	0,0	0,0	780,2	28,9	28,9	14,0	74,3	1.908,6	1,9
Ervália	271,0	0,0	0,0	642,6	0,0	450,0	367,0	834,8	834,8	17,5	92,5	3.510,2	3,5
Esmeraldas	4,1	0,0	0,0	89,8	0,0	0,0	1.740,0	417,1	417,1	62,9	332,9	3.063,9	3,1
Espera Feliz	394,0	0,0	0,0	124,2	0,0	0,0	239,5	4,9	4,9	22,7	120,4	910,6	0,9
Espinosa	0,1	0,0	0,0	17,7	0,0	0,0	1.436,3	59,5	59,5	29,7	157,2	1.760,0	1,8
Espírito Santo do Dourado	40,3	0,0	0,0	199,8	0,0	0,0	659,4	18,2	18,2	4,3	22,9	963,1	1,0
Estiva	0,0	0,0	0,0	118,3	0,0	0,0	795,2	18,6	18,6	10,5	55,7	1.017,0	1,0
Estrela Dalva	1,2	0,0	0,0	19,2	0,0	0,0	380,6	2,2	2,2	2,3	12,0	419,7	0,4
Estrela do Indaiá	17,0	41,1	4,0	159,9	31,9	0,0	2.000,9	13,9	13,9	3,3	17,6	2.303,4	2,3
Estrela do Sul	114,5	0,0	0,0	1.932,2	409,8	21.233,5	2.201,2	110,2	110,2	7,3	38,8	26.157,7	26,2
Eugenópolis	69,0	0,0	0,0	109,0	0,0	0,0	722,3	7,2	7,2	10,4	54,9	979,9	1,0
Ewbank da Câmara	0,0	0,0	0,0	14,1	0,0	0,0	194,2	5,2	5,2	3,6	19,2	241,6	0,2
Extrema	0,0	0,0	0,0	76,7	0,0	0,0	513,6	13,5	13,5	31,1	164,8	813,2	0,8
Fama	49,2	0,0	0,0	142,1	0,0	0,0	173,5	6,0	6,0	2,2	11,8	390,9	0,4
Faria Lemos	26,1	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	354,2	4,3	4,3	3,1	16,5	414,7	0,4
Felício dos Santos	9,7	0,0	0,0	119,5	0,0	0,0	199,8	30,5	30,5	4,7	24,7	419,2	0,4
Felisburgo	0,1	0,0	0,0	14,9	0,0	0,0	1.002,3	8,4	8,4	6,8	36,1	1.077,0	1,1

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Felixlândia	0,0	0,0	0,0	239,9	3,6	5.872,1	1.885,8	26,6	26,6	14,0	74,1	8.142,8	8,1
Fernandes Tourinho	0,1	0,0	0,0	19,7	0,0	0,0	568,6	20,6	20,6	3,1	16,3	648,9	0,6
Ferros	5,2	0,0	0,0	126,6	0,0	0,0	1.241,6	18,0	18,0	9,7	51,4	1.470,5	1,5
Fervedouro	148,2	0,0	0,0	44,2	0,0	0,0	468,1	6,2	11,2	10,1	53,7	741,7	0,7
Florestal	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	461,7	992,5	214,4	6,7	35,6	1.729,2	1,7
Formiga	109,1	0,0	0,0	3.428,6	147,3	0,0	2.753,8	313,0	783,3	63,0	333,4	7.931,4	7,9
Formoso	10,7	0,0	0,0	4.225,9	2.054,1	0,0	1.280,2	13,3	29,6	8,5	44,9	7.667,0	7,7
Fortaleza de Minas	28,2	41,1	4,0	483,3	0,0	0,0	536,5	62,1	8,0	4,0	21,4	1.188,7	1,2
Fortuna de Minas	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	0,0	389,8	38,9	38,0	2,7	14,2	495,2	0,5
Francisco Badaró	0,0	0,0	0,0	33,2	0,0	0,0	473,3	14,1	36,5	9,7	51,6	618,4	0,6
Francisco Dumont	0,2	0,0	0,0	29,6	0,0	0,0	987,6	16,5	20,6	4,8	25,3	1.084,5	1,1
Francisco Sá	0,0	0,0	0,0	124,1	0,0	1.014,5	5.196,5	92,1	94,5	24,3	128,6	6.674,7	6,7
Franciscópolis	6,8	0,0	0,0	36,2	0,0	0,0	1.749,0	12,5	56,3	5,3	27,9	1.894,0	1,9
Frei Gaspar	6,2	0,0	0,0	24,8	0,0	0,0	1.535,9	17,0	27,2	5,6	29,4	1.646,1	1,6
Frei Inocêncio	0,0	0,0	0,0	30,1	0,0	0,0	1.548,3	19,2	26,4	8,8	46,6	1.679,4	1,7
Frei Lagonegro	0,2	0,0	0,0	42,6	0,0	0,0	273,4	9,4	14,9	3,2	17,1	360,7	0,4
Fronteira	0,0	4.399,8	430,5	62,8	23,4	0,0	340,7	4,2	9,1	15,5	81,8	5.367,7	5,4
Fronteira dos Vales	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	741,7	10,7	17,6	4,4	23,2	799,5	0,8
Fruta de Leite	0,6	0,0	0,0	26,4	0,0	0,0	246,2	16,1	19,0	5,3	28,1	341,7	0,3
Frutal	0,0	40.837,8	3.995,7	1.742,9	859,0	0,0	6.511,6	56,7	212,7	53,8	284,8	54.555,1	54,6
Funilândia	0,0	0,0	0,0	104,3	0,0	0,0	465,6	425,3	9,8	3,9	20,7	1.029,6	1,0
Galiléia	0,3	0,0	0,0	25,7	0,0	0,0	1.748,5	10,9	25,4	6,5	34,4	1.851,6	1,9
Gameleiras	0,0	0,0	0,0	10,3	0,0	0,0	1.000,6	14,0	23,0	4,8	25,6	1.078,4	1,1
Glaucilândia	0,0	0,0	0,0	115,6	0,0	0,0	366,6	14,3	13,0	2,9	15,4	527,8	0,5
Goiabeira	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	357,2	2,9	6,5	3,0	16,1	390,7	0,4
Goianá	0,4	0,0	0,0	30,2	0,0	0,0	287,3	12,5	11,0	3,6	19,2	364,2	0,4
Gonçalves	0,0	0,0	0,0	11,8	0,0	0,0	401,8	3,9	7,7	4,1	21,5	450,7	0,5
Gonzaga	0,5	0,0	0,0	21,2	0,0	0,0	231,1	18,0	16,8	5,7	30,3	323,7	0,3
Gouveia	0,2	0,0	0,0	50,8	0,0	0,0	382,0	11,3	3,3	11,1	58,9	517,7	0,5
Governador Valadares	0,0	0,0	0,0	193,6	0,0	0,0	6.314,6	346,6	263,7	258,1	1.366,3	8.742,8	8,7
Grão Mogol	2,6	0,0	0,0	78,3	0,0	0,0	791,8	94,9	86,2	14,6	77,5	1.146,1	1,1
Grupiara	0,0	0,0	0,0	113,4	52,1	0,0	471,4	4,6	7,8	1,3	6,9	657,6	0,7
Guanhães	0,6	0,0	0,0	133,7	0,0	0,0	1.628,1	24,8	31,6	31,2	165,2	2.015,2	2,0
Guapé	220,8	0,0	0,0	1.483,3	5,9	0,0	1.326,5	48,0	29,4	13,3	70,5	3.197,7	3,2
Guaraciaba	5,3	0,0	0,0	375,9	0,0	0,0	375,5	18,4	68,5	9,7	51,5	904,8	0,9
Guaraciama	0,1	0,0	0,0	71,0	0,0	279,0	325,3	26,3	28,8	4,6	24,3	759,5	0,8
Guaranésia	173,1	2.847,4	278,6	192,9	3,9	0,0	565,6	37,9	48,8	17,9	94,6	4.260,7	4,3
Guarani	1,9	0,0	0,0	77,1	0,0	0,0	622,8	56,4	21,7	8,3	44,1	832,3	0,8
Guarará	0,4	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	218,7	6,7	27,3	3,6	19,3	282,1	0,3
Guarda-Mor	16,5	0,0	0,0	6.811,7	4.183,1	0,0	4.426,4	43,0	68,8	6,2	32,9	15.588,5	15,6
Guaxupé	228,5	1.149,7	112,5	359,6	0,0	0,0	325,2	106,7	55,4	48,1	254,6	2.640,3	2,6

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Guidoval	0,0	0,0	0,0	62,8	0,0	0,0	354,1	78,1	11,7	6,7	35,7	549,2	0,5
Guimarânia	82,5	0,0	0,0	831,4	170,0	0,0	1.013,9	14,6	101,4	7,3	38,6	2.259,7	2,3
Guiricema	10,4	0,0	0,0	431,0	0,0	0,0	708,6	776,4	34,7	8,1	42,7	2.011,8	2,0
Gurinhatã	0,0	3.700,0	362,0	427,2	8,8	0,0	6.534,5	30,9	66,0	5,5	29,3	11.164,2	11,2
Heliodora	109,1	0,0	0,0	95,3	0,1	0,0	366,8	9,5	10,8	6,0	31,9	629,5	0,6
Iapu	2,2	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	673,0	17,0	20,0	10,1	53,3	782,3	0,8
Ibertioga	0,0	0,0	0,0	139,5	0,0	0,0	633,9	16,8	33,7	4,8	25,2	853,7	0,9
Ibiá	182,7	7.198,6	704,3	8.758,9	1.533,5	0,0	4.580,8	92,8	62,8	23,0	121,9	23.259,2	23,3
Ibiaí	51,9	0,0	0,0	159,6	0,0	0,0	1.455,1	20,2	20,8	7,7	40,8	1.756,2	1,8
Ibiracatu	0,0	0,0	0,0	28,7	0,0	0,0	272,5	22,1	39,2	5,7	30,2	398,5	0,4
Ibiraci	471,1	0,0	0,0	481,5	53,4	0,0	815,3	31,7	30,2	12,4	65,7	1.961,2	2,0
Ibirité	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	0,1	4,7	162,1	858,5	1.062,4	1,1
Ibitiúra de Minas	83,6	0,0	0,0	13,5	0,0	0,0	121,5	6,6	9,2	3,3	17,2	254,7	0,3
Ibituruna	25,5	0,0	0,0	84,7	0,0	0,0	473,7	5,9	9,1	2,8	14,7	616,4	0,6
Icaraí de Minas	0,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	1.402,3	22,3	33,9	10,8	57,3	1.576,8	1,6
Igarapé	0,0	0,0	0,0	19,6	0,0	0,0	169,1	98,6	16,5	37,3	197,7	538,8	0,5
Igaratinga	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	639,5	2.404,4	286,6	9,6	50,9	3.397,9	3,4
Iguatama	0,0	3.748,8	366,8	2.210,2	230,3	0,0	1.459,5	38,6	65,4	7,5	40,0	8.167,0	8,2
Ijaci	12,9	0,0	0,0	172,7	0,0	0,0	256,5	11,2	28,1	5,9	31,3	518,6	0,5
Ilicínea	210,9	0,0	0,0	520,9	0,0	0,0	613,5	30,4	67,0	11,3	60,0	1.514,2	1,5
Imbé de Minas	90,8	0,0	0,0	127,5	0,0	0,0	186,5	9,1	12,9	6,3	33,5	466,6	0,5
Inconfidentes	38,6	0,0	0,0	73,2	0,0	0,0	423,1	15,1	26,6	6,8	35,8	619,2	0,6
Indaiabira	12,7	0,0	0,0	30,4	0,0	0,0	198,9	29,4	28,3	6,9	36,8	343,5	0,3
Indianópolis	179,0	906,9	88,7	4.585,4	752,3	9.378,9	686,5	988,3	87,0	6,2	33,0	17.692,2	17,7
Ingaí	20,4	0,0	0,0	616,9	0,0	0,0	553,5	4,5	7,1	2,6	13,6	1.218,4	1,2
Inhapim	86,1	0,0	0,0	845,2	0,0	0,0	1.452,9	42,9	46,1	22,9	121,2	2.617,2	2,6
Inhaúma	0,0	0,0	0,0	97,5	20,3	0,0	837,4	17,5	45,2	5,7	30,3	1.054,0	1,1
Inimutaba	0,0	0,0	0,0	176,5	0,0	0,0	682,9	8,9	56,0	6,9	36,4	967,6	1,0
Ipaba	0,0	0,0	0,0	112,0	0,0	0,0	86,4	2,5	10,2	16,8	89,0	316,8	0,3
Ipanema	12,4	0,0	0,0	178,2	0,0	0,0	1.113,5	16,9	24,2	18,1	95,8	1.459,1	1,5
Ipatinga	0,4	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	91,1	4,0	7,0	239,3	1.266,9	1.610,2	1,6
Ipiaçu	0,0	2.922,6	286,0	797,1	443,0	0,0	1.178,9	6,8	3,1	3,9	20,9	5.662,3	5,7
Ipuiúna	0,0	0,0	0,0	655,8	0,0	0,0	664,3	29,4	13,7	9,3	49,3	1.421,8	1,4
Irai de Minas	46,0	567,3	55,5	1.208,4	142,8	0,0	945,5	85,5	21,3	6,4	33,9	3.112,6	3,1
Itabira	0,2	0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	1.196,5	75,4	29,2	109,3	578,8	2.027,3	2,0
Itabirinha	10,9	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	572,9	11,5	26,4	10,6	55,9	693,4	0,7
Itabirito	0,3	0,0	0,0	327,9	0,0	0,0	234,4	11,5	50,8	46,4	245,8	917,1	0,9
Itacambira	6,1	0,0	0,0	18,9	0,0	0,0	451,4	43,6	36,5	4,9	26,1	587,5	0,6
Itacarambi	0,0	0,0	0,0	334,6	55,8	0,0	1.246,4	39,3	76,2	17,0	90,0	1.859,3	1,9
Itaguara	0,0	205,3	20,1	120,7	0,0	0,0	982,0	30,6	50,3	12,2	64,7	1.486,0	1,5
Itaipé	67,6	0,0	0,0	38,4	0,0	0,0	430,5	22,6	25,7	11,7	61,8	658,2	0,7

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Itajubá	1,5	0,0	0,0	122,5	0,0	0,0	718,7	52,2	43,5	89,1	471,5	1.499,0	1,5
Itamarandiba	13,3	0,0	0,0	110,3	0,0	1.035,4	1.406,1	43,8	32,9	31,8	168,4	2.842,0	2,8
Itamarati de Minas	4,1	0,0	0,0	22,1	0,0	0,0	220,9	40,2	6,1	4,0	21,2	318,7	0,3
Itambacuri	6,3	0,0	0,0	41,7	0,0	0,0	3.737,2	31,2	91,8	21,8	115,4	4.045,4	4,0
Itambé do Mato Dentro	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	311,7	4,9	4,4	2,1	10,9	335,8	0,3
Itamogi	272,6	168,4	16,5	261,5	0,9	0,0	344,5	169,8	6,5	9,7	51,4	1.301,8	1,3
Itamonte	0,2	0,0	0,0	51,7	0,0	0,0	532,9	2,4	30,4	14,1	74,6	706,2	0,7
Itanhandu	0,0	0,0	0,0	14,5	0,0	0,0	475,8	5.578,9	20,6	14,0	74,3	6.178,2	6,2
Itanhomi	8,5	0,0	0,0	29,7	0,0	0,0	1.476,1	66,5	103,0	11,4	60,4	1.755,7	1,8
Itaobim	0,1	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	649,8	11,6	26,5	19,9	105,3	818,0	0,8
Itapagipe	2,3	14.178,2	1.387,2	484,9	85,8	0,0	7.036,3	83,9	150,3	13,8	72,9	23.495,6	23,5
Itapecerica	10,4	0,0	0,0	649,0	0,0	3.014,4	1.458,9	617,7	209,1	20,4	108,1	6.088,0	6,1
Itapeva	0,0	0,0	0,0	126,4	0,0	0,0	416,4	3,8	9,9	8,8	46,6	612,0	0,6
Itatiaiuçu	0,4	0,0	0,0	48,6	0,0	0,0	294,4	46,5	30,7	10,0	53,2	483,7	0,5
Itaú de Minas	0,4	0,0	0,0	437,8	0,0	0,0	335,4	97,9	56,2	14,8	78,1	1.020,6	1,0
Itaúna	0,3	0,0	0,0	68,2	0,0	0,0	1.228,9	782,1	151,8	85,0	449,9	2.766,2	2,8
Itaverava	2,1	0,0	0,0	258,0	0,0	0,0	264,7	11,8	22,9	5,3	28,0	592,7	0,6
Itinga	0,2	0,0	0,0	25,1	0,0	0,0	1.107,1	10,6	39,4	13,9	73,8	1.270,1	1,3
Itueta	64,5	0,0	0,0	210,7	0,0	0,0	1.045,7	18,7	29,3	5,6	29,8	1.404,4	1,4
Ituiutaba	0,2	15.132,5	1.480,6	989,2	837,3	0,0	8.045,5	145,9	1.702,6	95,9	507,8	28.937,6	28,9
Itumirim	10,0	0,0	0,0	395,0	0,6	0,0	450,1	6,9	11,7	5,7	30,4	910,6	0,9
Iturama	0,0	24.728,1	2.419,5	121,6	15,1	0,0	3.972,7	31,0	44,9	35,2	186,1	31.554,3	31,6
Itutinga	4,4	0,0	0,0	745,3	34,6	0,0	640,5	9,3	15,4	3,6	19,2	1.472,4	1,5
Jaboticatubas	0,0	0,0	0,0	78,3	0,0	0,0	595,2	105,1	20,2	17,8	94,3	910,9	0,9
Jacinto	0,5	0,0	0,0	47,0	0,0	0,0	2.477,7	24,8	75,8	11,6	61,3	2.698,5	2,7
Jacuí	90,9	121,3	11,9	58,0	22,5	0,0	754,7	46,7	53,3	7,2	38,1	1.204,6	1,2
Jacutinga	133,4	804,5	78,7	68,4	0,0	0,0	704,1	128,9	39,9	23,3	123,1	2.104,3	2,1
Jaguaraçu	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	206,7	4,7	9,4	2,9	15,4	243,3	0,2
Jaíba	26,0	7.850,3	768,1	346,7	0,0	0,0	3.061,9	56,6	89,7	34,6	183,3	12.417,2	12,4
Jampruca	0,0	0,0	0,0	20,9	0,0	0,0	1.149,7	8,6	13,1	5,0	26,3	1.223,5	1,2
Janaúba	0,0	0,0	0,0	44,9	0,0	0,0	4.364,1	39,3	68,1	65,8	348,2	4.930,5	4,9
Januária	0,0	0,0	0,0	40,8	0,0	0,0	3.843,4	91,9	105,5	63,1	334,3	4.479,0	4,5
Japaraíba	0,0	3.838,1	375,5	574,9	0,0	0,0	347,7	15,6	26,5	3,9	20,9	5.203,3	5,2
Japonvar	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	430,7	16,0	145,3	8,0	42,3	656,3	0,7
Jeceaba	0,3	0,0	0,0	113,2	0,0	0,0	213,5	7,9	11,8	4,8	25,6	377,2	0,4
Jenipapo de Minas	0,0	0,0	0,0	22,6	0,0	0,0	299,2	9,0	23,4	7,0	37,3	398,5	0,4
Jequeri	123,5	465,3	45,5	272,4	0,0	0,0	1.024,2	30,3	2.547,8	11,9	63,0	4.584,0	4,6
Jequitaí	0,0	0,0	0,0	65,1	0,0	0,0	1.864,7	19,7	22,9	7,3	38,8	2.018,4	2,0
Jequitibá	0,0	0,0	0,0	177,4	0,0	0,0	614,2	1.577,0	42,5	4,9	26,0	2.442,0	2,4
Jequitinhonha	0,5	0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	2.601,4	13,2	37,3	23,5	124,4	2.820,2	2,8
Jesuânia	55,3	0,0	0,0	28,7	0,0	0,0	465,8	10,9	8,2	4,5	23,9	597,3	0,6

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Joaíma	2,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	2.655,3	10,2	24,9	14,4	76,2	2.786,7	2,8
Joanésia	0,0	0,0	0,0	28,2	0,0	0,0	254,0	14,2	21,7	4,7	24,8	347,5	0,3
João Monlevade	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	87,6	1,0	1,6	73,0	386,4	551,6	0,6
João Pinheiro	111,2	21.983,1	2.150,9	1.203,0	269,6	3.868,1	9.974,8	75,5	147,2	44,7	236,8	40.065,1	40,1
Joaquim Felício	0,0	0,0	0,0	132,3	0,0	0,0	728,4	12,6	9,6	4,3	22,7	909,9	0,9
Jordânia	0,2	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	1.679,5	22,4	69,4	10,0	53,1	1.841,7	1,8
José Gonçalves de Minas	3,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	71,3	4,2	4,1	4,3	22,7	119,1	0,1
José Raydan	0,5	0,0	0,0	128,6	0,0	0,0	491,2	14,2	27,2	4,5	23,7	689,8	0,7
Josenópolis	0,2	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	118,9	22,1	19,0	4,5	23,7	205,7	0,2
Juatuba	0,0	0,0	0,0	21,8	0,0	0,0	126,0	116,4	6,8	23,5	124,5	419,0	0,4
Juiz de Fora	0,5	0,0	0,0	72,3	0,0	0,0	1.923,3	328,8	709,7	516,4	2.734,0	6.285,0	6,3
Juramento	0,2	0,0	0,0	98,6	0,0	564,9	825,7	17,8	34,0	4,0	21,2	1.566,4	1,6
Juruaia	221,9	239,7	23,5	464,5	0,0	0,0	400,6	617,9	26,0	9,4	50,0	2.053,5	2,1
Juvenília	0,0	0,0	0,0	33,8	0,0	0,0	1.343,7	5,8	17,5	5,4	28,6	1.434,8	1,4
Ladainha	13,0	0,0	0,0	17,5	0,0	0,0	820,8	30,1	55,8	16,7	88,3	1.042,1	1,0
Lagamar	0,0	0,0	0,0	831,6	124,8	0,0	2.886,8	62,3	123,9	7,2	38,1	4.074,6	4,1
Lagoa da Prata	0,0	7.562,1	739,9	130,8	0,0	0,0	1.042,6	68,3	7,8	46,8	247,8	9.846,0	9,8
Lagoa dos Patos	0,0	0,0	0,0	30,4	0,0	0,0	932,5	16,5	23,8	3,9	20,8	1.028,0	1,0
Lagoa Dourada	4,6	0,0	0,0	1.939,7	50,1	0,0	703,1	32,7	176,9	12,0	63,5	2.982,6	3,0
Lagoa Formosa	41,7	0,0	0,0	3.140,0	147,2	0,0	3.010,2	63,5	230,1	16,7	88,5	6.737,9	6,7
Lagoa Grande	3,0	0,0	0,0	1.227,3	278,0	0,0	2.811,8	27,3	64,3	8,6	45,8	4.466,1	4,5
Lagoa Santa	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	231,3	0,2	6,1	56,1	297,0	595,7	0,6
Lajinha	298,5	0,0	0,0	156,9	0,0	0,0	370,8	21,4	46,5	18,7	99,1	1.012,0	1,0
Lambari	205,4	0,0	0,0	111,4	0,0	0,0	331,0	22,0	13,7	19,2	101,5	804,2	0,8
Lamim	0,7	0,0	0,0	84,6	0,0	0,0	79,7	1,5	3,6	3,2	17,1	190,5	0,2
Laranjal	0,1	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	531,1	23,3	52,5	6,3	33,3	665,0	0,7
Lassance	38,5	0,0	0,0	32,9	23,7	0,0	1.446,7	27,9	196,0	6,1	32,6	1.804,5	1,8
Lavras	143,5	0,0	0,0	1.518,6	18,2	0,0	1.105,9	882,8	194,7	93,4	494,4	4.451,6	4,5
Leandro Ferreira	0,0	0,0	0,0	39,6	0,0	0,0	779,3	65,6	19,7	3,0	16,1	923,4	0,9
Leme do Prado	1,3	0,0	0,0	11,6	0,0	0,0	94,2	10,6	7,0	4,6	24,4	153,7	0,2
Leopoldina	1,1	0,0	0,0	143,8	0,0	579,7	2.536,1	159,8	438,9	49,1	260,2	4.168,7	4,2
Liberdade	0,0	0,0	0,0	82,3	0,0	0,0	453,2	10,4	20,3	4,9	26,0	597,1	0,6
Lima Duarte	0,0	0,0	0,0	281,1	0,0	0,0	1.099,4	142,5	62,4	15,6	82,4	1.683,4	1,7
Limeira do Oeste	0,0	18.515,5	1.811,6	205,6	0,0	0,0	4.393,9	20,9	61,3	6,9	36,3	25.051,9	25,1
Lontra	0,1	0,0	0,0	9,9	0,0	0,0	401,4	10,5	18,1	8,3	43,9	492,3	0,5
Luisburgo	245,6	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	70,8	10,0	28,0	5,9	31,3	404,2	0,4
Luislândia	0,1	0,0	0,0	11,6	0,0	0,0	610,2	21,1	21,6	6,2	32,9	703,6	0,7
Luminárias	41,8	0,0	0,0	539,4	24,2	0,0	531,6	7,5	6,7	5,1	27,2	1.183,5	1,2
Luz	2,0	6.631,6	648,9	689,2	15,2	0,0	3.649,8	51,6	87,6	16,9	89,6	11.882,5	11,9
Machacalis	0,2	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	1.613,6	10,8	26,7	6,7	35,3	1.695,9	1,7
Machado	512,4	32,1	3,1	1.898,8	34,1	0,0	883,9	261,5	253,8	38,4	203,5	4.121,7	4,1

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Madre de Deus de Minas	0,0	0,0	0,0	1.806,2	201,3	0,0	531,9	7,7	43,2	4,7	25,1	2.620,1	2,6
Malacacheta	42,7	0,0	0,0	77,8	0,0	225,7	1.641,6	46,2	100,6	17,7	93,7	2.245,9	2,2
Mamonas	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	0,0	329,9	26,0	55,5	6,1	32,3	470,2	0,5
Manga	0,0	0,0	0,0	91,6	1,5	0,0	2.316,3	15,2	37,2	18,0	95,2	2.575,0	2,6
Manhuaçu	660,8	0,0	0,0	315,5	0,0	0,0	305,8	49,1	37,1	81,0	428,6	1.877,8	1,9
Manhumirim	265,9	0,0	0,0	43,4	0,0	0,0	104,3	10,5	17,0	20,9	110,8	572,8	0,6
Mantena	92,5	0,0	0,0	21,6	0,0	0,0	1.676,6	9,7	91,5	25,9	137,3	2.055,1	2,1
Mar de Espanha	6,2	0,0	0,0	28,9	0,0	0,0	577,3	13,2	22,0	11,7	61,8	721,0	0,7
Maravilhas	0,2	0,0	0,0	138,2	0,0	0,0	618,6	391,4	72,2	7,2	38,2	1.266,1	1,3
Maria da Fé	2,2	0,0	0,0	70,4	0,0	0,0	433,5	15,6	24,0	13,4	70,8	629,9	0,6
Mariana	2,2	0,0	0,0	344,4	0,0	227,8	549,5	22,0	141,6	54,8	289,9	1.632,2	1,6
Marilac	0,0	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	595,6	13,3	38,8	3,9	20,8	696,0	0,7
Mário Campos	0,1	0,0	0,0	8,1	0,0	0,0	16,1	38,5	9,8	13,7	72,4	158,6	0,2
Maripá de Minas	0,2	0,0	0,0	9,6	0,0	0,0	176,9	6,6	32,7	2,7	14,5	243,3	0,2
Marliéria	0,5	0,0	0,0	33,9	0,0	0,0	402,9	4,6	4,5	3,8	20,2	470,5	0,5
Marmelópolis	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	180,9	13,4	18,6	2,7	14,3	238,1	0,2
Martinho Campos	0,0	0,0	0,0	484,6	29,1	0,0	2.288,2	601,5	279,7	12,3	65,3	3.760,9	3,8
Martins Soares	206,1	0,0	0,0	156,9	0,0	0,0	66,1	7,9	10,0	7,4	39,4	494,0	0,5
Mata Verde	18,9	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	354,2	11,7	20,7	7,8	41,4	464,3	0,5
Materlândia	0,7	0,0	0,0	18,4	0,0	0,0	485,4	17,7	32,2	4,3	22,6	581,4	0,6
Mateus Leme	0,7	0,0	0,0	40,9	0,0	0,0	471,2	141,8	22,0	28,1	148,6	853,1	0,9
Mathias Lobato	0,0	0,0	0,0	12,7	0,0	0,0	475,7	4,2	13,4	3,1	16,4	525,5	0,5
Matias Barbosa	0,2	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	323,2	38,9	9,9	13,3	70,2	460,5	0,5
Matias Cardoso	3,3	86,9	8,5	63,3	0,0	0,0	3.131,1	26,1	48,9	10,1	53,3	3.431,5	3,4
Matipó	208,8	0,0	0,0	255,0	0,0	0,0	383,2	16,1	119,5	17,4	91,9	1.091,9	1,1
Mato Verde	0,0	0,0	0,0	34,9	0,0	0,0	619,0	21,2	35,4	11,9	62,9	785,2	0,8
Matozinhos	0,1	0,0	0,0	444,5	22,2	0,0	593,0	5,5	11,4	34,2	181,0	1.291,8	1,3
Matutina	9,6	0,0	0,0	347,2	11,6	0,0	913,2	7,1	53,5	3,6	18,8	1.364,6	1,4
Medeiros	158,3	585,6	57,3	1.502,0	62,3	0,0	1.398,3	13,4	43,9	3,4	18,3	3.842,8	3,8
Medina	2,1	0,0	0,0	29,2	0,0	0,0	1.457,3	4,2	28,3	19,8	104,7	1.645,6	1,6
Mendes Pimentel	2,4	0,0	0,0	28,4	0,0	0,0	1.032,9	12,6	18,0	6,1	32,0	1.132,4	1,1
Mercês	0,0	0,0	0,0	206,8	0,0	0,0	582,5	24,9	51,4	10,0	53,0	928,5	0,9
Mesquita	0,0	0,0	0,0	31,4	0,0	0,0	368,0	7,6	21,0	5,5	29,1	462,6	0,5
Minas Novas	15,5	0,0	0,0	77,3	0,0	722,4	337,2	59,3	82,4	29,5	156,1	1.479,7	1,5
Minduri	0,0	0,0	0,0	1.170,3	22,8	0,0	306,3	3,5	98,6	3,7	19,4	1.624,6	1,6
Mirabela	0,3	0,0	0,0	22,4	0,0	0,0	780,6	26,7	38,6	12,6	66,9	948,0	0,9
Miradouro	94,4	0,0	0,0	83,1	0,0	0,0	715,4	25,5	71,7	10,0	52,8	1.052,8	1,1
Miraí	19,9	0,0	0,0	38,4	0,0	0,0	833,2	157,0	25,5	13,7	72,6	1.160,3	1,2
Miravânia	0,0	0,0	0,0	43,9	0,0	0,0	441,7	4,8	9,8	4,5	23,7	528,4	0,5
Moeda	0,6	0,0	0,0	17,7	0,0	0,0	200,3	4,5	2,5	4,6	24,1	254,3	0,3
Moema	0,0	278,0	27,2	74,9	2,3	0,0	772,4	113,7	55,8	6,9	36,6	1.367,8	1,4

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Monjolos	0,0	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0	692,2	7,1	4,0	2,2	11,4	783,5	0,8
Monsenhor Paulo	122,6	0,0	0,0	170,5	0,0	0,0	539,8	9,3	9,5	8,0	42,4	902,2	0,9
Montalvânia	0,0	0,0	0,0	95,1	0,0	0,0	1.844,6	14,5	48,3	14,5	76,6	2.093,7	2,1
Monte Alegre de Minas	5,3	9.064,2	886,9	3.089,8	3.400,8	0,0	6.591,9	2.098,7	1.221,4	19,4	102,5	26.480,6	26,5
Monte Azul	0,6	0,0	0,0	67,0	0,0	0,0	1.135,8	59,5	100,2	20,2	106,9	1.490,1	1,5
Monte Belo	144,7	4.221,2	413,0	789,3	0,0	0,0	818,6	34,3	79,4	12,4	65,7	6.578,6	6,6
Monte Carmelo	716,5	0,0	0,0	4.569,0	725,0	5.860,1	2.348,0	511,4	263,5	44,4	235,0	15.272,8	15,3
Monte Formoso	2,0	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	428,0	5,7	8,4	4,5	24,0	479,3	0,5
Monte Santo de Minas	407,8	3.170,5	310,2	524,1	29,5	0,0	1.141,4	512,5	174,0	20,2	107,1	6.397,5	6,4
Monte Sião	94,7	753,6	73,7	113,9	0,0	0,0	753,5	47,4	42,9	21,4	113,5	2.014,8	2,0
Montes Claros	0,6	0,0	0,0	154,5	0,0	961,9	5.857,2	2.491,1	219,0	367,5	1.945,8	11.997,7	12,0
Montezuma	0,5	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0	327,7	18,3	22,1	7,5	39,6	434,5	0,4
Morada Nova de Minas	0,0	0,0	0,0	1.424,8	56,7	0,0	1.946,6	16,4	372,8	8,1	43,1	3.868,5	3,9
Morro da Garça	0,0	0,0	0,0	115,7	0,0	1.384,9	1.007,5	7,7	4,6	2,4	12,8	2.535,5	2,5
Morro do Pilar	0,2	0,0	0,0	56,1	0,0	0,0	273,5	9,1	13,3	3,1	16,4	371,6	0,4
Munhoz	0,0	0,0	0,0	185,2	0,0	0,0	252,0	7,6	14,2	5,8	30,7	495,5	0,5
Muriaé	56,6	0,0	0,0	144,9	0,0	0,0	2.203,2	19,5	140,1	99,6	527,2	3.190,9	3,2
Mutum	309,3	0,0	0,0	458,3	0,0	0,0	2.477,8	41,4	126,5	25,4	134,4	3.573,1	3,6
Muzambinho	254,8	0,0	0,0	2.518,6	0,0	0,0	752,8	70,7	71,1	19,4	102,7	3.790,1	3,8
Nacip Raydan	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	349,4	21,0	26,5	3,0	16,0	431,4	0,4
Nanuque	0,8	2.394,0	234,2	4,5	0,0	284,6	5.676,1	10,2	53,7	38,6	204,2	8.901,0	8,9
Naque	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0	0,0	256,0	50,4	7,9	6,3	33,6	369,6	0,4
Natalândia	0,0	0,0	0,0	276,7	0,0	0,0	1.500,1	9,3	17,1	3,1	16,5	1.822,8	1,8
Natércia	81,4	0,0	0,0	115,9	0,0	0,0	539,2	16,2	49,8	4,4	23,5	830,5	0,8
Nazareno	65,4	0,0	0,0	882,0	51,3	0,0	709,6	9,1	38,5	7,9	41,7	1.805,6	1,8
Nepomuceno	584,9	0,0	0,0	1.023,9	0,4	0,0	894,5	1.249,4	9,2	24,9	131,8	3.919,0	3,9
Ninheira	53,7	0,0	0,0	17,0	0,0	0,0	403,8	17,6	23,4	9,5	50,5	575,4	0,6
Nova Belém	130,0	0,0	0,0	13,6	0,0	0,0	171,4	4,2	13,2	3,2	17,2	352,8	0,4
Nova Era	1,7	18,9	1,8	21,6	0,0	0,0	391,4	4,0	11,3	16,6	87,9	555,2	0,6
Nova Lima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	0,0	0,0	84,0	444,9	558,1	0,6
Nova Módica	0,3	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	1.183,5	7,4	11,6	3,5	18,4	1.229,1	1,2
Nova Ponte	14,6	6.119,3	598,7	7.830,6	1.727,3	6.443,8	1.434,1	1.297,8	86,9	13,6	71,9	25.638,6	25,6
Nova Porteirinha	0,0	0,0	0,0	18,9	0,0	0,0	178,2	25,5	64,4	7,1	37,3	331,4	0,3
Nova Resende	610,7	0,0	0,0	1.827,0	23,4	0,0	405,6	53,4	68,4	15,3	80,8	3.084,6	3,1
Nova Serrana	0,0	0,0	0,0	10,6	0,0	0,0	685,1	1.221,4	17,3	85,2	451,1	2.470,6	2,5
Nova União	0,5	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	183,5	4,5	10,8	5,3	28,3	238,7	0,2
Novo Cruzeiro	96,1	0,0	0,0	135,5	0,0	229,7	896,9	80,8	201,7	29,4	155,6	1.825,7	1,8
Novo Oriente de Minas	0,4	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	567,7	21,9	74,8	10,0	53,0	730,3	0,7
Novorizonte	1,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	114,8	10,4	9,7	4,9	25,8	176,1	0,2
Olaria	0,0	0,0	0,0	21,4	0,0	0,0	296,6	11,6	5,2	1,7	9,2	345,8	0,3
Olhos-d'Água	1,9	0,0	0,0	18,8	0,0	295,9	447,1	21,9	16,6	5,4	28,7	836,4	0,8

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Olímpio Noronha	34,2	0,0	0,0	14,2	0,0	0,0	117,9	7,2	10,9	2,5	13,4	200,4	0,2
Oliveira	199,8	0,0	0,0	645,2	0,0	0,0	1.458,6	41,7	675,4	38,5	203,9	3.263,2	3,3
Oliveira Fortes	0,0	0,0	0,0	17,7	0,0	0,0	210,2	12,6	7,0	2,0	10,7	260,2	0,3
Onça de Pitangui	0,2	0,0	0,0	136,9	0,0	0,0	513,2	483,5	225,0	2,9	15,6	1.377,3	1,4
Oratórios	0,3	893,0	87,4	14,1	0,0	0,0	150,5	5,3	634,4	4,3	23,0	1.812,3	1,8
Orizânia	95,0	0,0	0,0	70,6	0,0	0,0	85,2	1,8	7,1	7,3	38,6	305,6	0,3
Ouro Branco	1,0	0,0	0,0	167,8	0,0	0,0	106,8	5,9	6,1	35,6	188,6	511,8	0,5
Ouro Fino	204,2	358,7	35,1	625,1	0,0	0,0	1.172,4	112,8	58,8	31,0	163,9	2.761,9	2,8
Ouro Preto	1,2	0,0	0,0	326,9	0,0	0,0	379,5	12,4	103,4	68,6	363,3	1.255,2	1,3
Ouro Verde de Minas	2,5	0,0	0,0	25,2	0,0	0,0	744,2	22,9	31,2	5,6	29,9	861,5	0,9
Padre Carvalho	0,2	0,0	0,0	17,4	0,0	268,5	88,3	14,1	14,1	5,8	30,8	439,2	0,4
Padre Paraíso	5,9	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	372,4	11,1	16,2	18,5	98,1	529,2	0,5
Pai Pedro	0,0	0,0	0,0	28,6	0,0	0,0	807,3	23,6	34,6	5,7	30,2	930,0	0,9
Paineiras	0,0	0,0	0,0	84,4	1,4	0,0	1.458,6	19,3	28,3	4,3	22,8	1.619,1	1,6
Pains	0,0	0,0	0,0	1.149,8	18,8	0,0	1.296,0	56,8	53,8	7,7	40,9	2.623,9	2,6
Paiva	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	141,1	11,4	3,4	1,5	7,7	173,4	0,2
Palma	1,9	0,0	0,0	18,5	0,0	0,0	690,6	24,0	49,0	6,2	33,0	823,2	0,8
Palmópolis	1,4	0,0	0,0	19,8	0,0	0,0	1.013,5	13,3	37,6	5,8	30,7	1.122,0	1,1
Papagaios	0,0	0,0	0,0	215,8	12,7	0,0	1.232,1	96,3	304,8	14,2	75,2	1.951,0	2,0
Pará de Minas	0,8	0,0	0,0	100,7	0,0	259,6	1.645,1	11.693,8	2.099,0	84,9	449,3	16.333,2	16,3
Paracatu	93,7	18.033,1	1.764,4	14.401,0	6.158,3	0,0	11.407,9	92,1	314,8	84,6	448,1	52.798,1	52,8
Paraguaçu	283,9	55,4	5,4	1.698,6	71,5	0,0	776,4	19,0	28,2	19,8	105,0	3.063,2	3,1
Paraisópolis	5,6	0,0	0,0	71,6	0,0	0,0	1.020,0	18,1	48,3	19,2	101,9	1.284,6	1,3
Paraopeba	0,1	0,0	0,0	240,3	0,0	0,0	1.253,7	172,6	117,6	22,4	118,6	1.925,2	1,9
Passa Quatro	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	0,0	666,6	2.061,0	39,0	15,1	80,2	2.886,8	2,9
Passa Tempo	11,0	0,0	0,0	497,5	0,0	0,0	798,8	30,3	36,4	7,7	40,7	1.422,5	1,4
Passabém	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	188,0	2,2	1,2	1,6	8,5	218,3	0,2
Passa-Vinte	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	204,2	387,0	4,4	10,2	1,9	10,3	619,8	0,6
Passos	102,6	10.779,7	1.054,7	2.631,6	103,9	0,0	5.136,1	177,2	523,3	105,0	556,0	21.170,1	21,2
Patis	5,1	0,0	0,0	37,7	0,0	0,0	768,7	11,4	21,3	5,5	29,0	878,8	0,9
Patos de Minas	361,1	821,4	80,4	5.679,4	584,9	471,1	8.202,5	329,0	3.042,4	138,3	732,1	20.442,5	20,4
Patrocínio	1.488,1	0,0	0,0	4.975,6	899,9	0,0	5.124,9	174,5	2.005,5	82,4	436,4	15.187,3	15,2
Patrocínio do Muriaé	0,0	0,0	0,0	24,0	0,0	0,0	333,7	6,6	8,7	5,2	27,6	405,8	0,4
Paula Cândido	58,2	0,0	0,0	259,7	0,0	0,0	311,9	492,1	34,2	8,9	47,3	1.212,3	1,2
Paulistas	0,6	0,0	0,0	111,3	0,0	0,0	402,3	10,1	12,9	4,6	24,4	566,2	0,6
Pavão	0,0	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	1.857,4	26,5	49,7	8,0	42,6	1.991,8	2,0
Peçanha	1,5	0,0	0,0	650,5	0,0	559,6	1.297,9	33,9	42,4	16,5	87,2	2.689,5	2,7
Pedra Azul	5,6	0,0	0,0	26,8	0,0	0,0	1.719,4	5,5	11,9	22,8	120,8	1.912,8	1,9
Pedra Bonita	125,2	0,0	0,0	161,7	0,0	0,0	92,5	7,4	24,4	6,5	34,6	452,3	0,5
Pedra do Anta	8,7	0,0	0,0	96,5	0,0	0,0	274,0	97,2	49,2	3,0	16,1	544,9	0,5
Pedra do Indaiá	0,1	0,0	0,0	42,7	0,0	0,0	682,9	275,4	20,5	3,7	19,7	1.045,0	1,0

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Pedra Dourada	38,4	0,0	0,0	25,4	0,0	0,0	104,4	1,3	7,9	2,2	11,9	191,5	0,2
Pedralva	132,8	0,0	0,0	181,7	0,0	0,0	590,0	101,8	18,4	10,7	56,7	1.092,0	1,1
Pedras de Maria da Cruz	0,0	0,0	0,0	71,2	0,0	0,0	1.892,3	24,7	80,9	10,4	55,2	2.134,6	2,1
Pedrinópolis	17,9	468,7	45,9	1.995,1	641,8	0,0	522,6	360,7	111,2	3,4	17,9	4.185,1	4,2
Pedro Leopoldo	0,0	0,0	0,0	62,8	0,0	0,0	531,2	400,0	5,1	58,5	309,8	1.367,3	1,4
Pedro Teixeira	0,0	0,0	0,0	28,8	0,0	0,0	222,4	11,0	9,9	1,7	9,0	282,8	0,3
Pequeri	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	133,4	7,2	11,3	3,1	16,3	181,6	0,2
Pequi	0,0	0,0	0,0	58,5	0,0	0,0	610,8	435,8	118,9	4,0	21,3	1.249,5	1,2
Perdigão	0,0	0,0	0,0	69,5	0,0	0,0	453,7	154,0	89,8	9,8	52,0	828,8	0,8
Perdizes	340,6	20.452,6	2.001,1	13.359,5	2.082,7	448,4	4.377,5	500,2	302,2	14,6	77,1	43.956,6	44,0
Perdões	148,2	0,0	0,0	552,9	0,0	0,0	791,2	7,6	5,7	19,7	104,3	1.629,6	1,6
Periquito	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	382,9	17,4	17,6	6,5	34,6	466,0	0,5
Pescador	0,1	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	885,0	5,4	8,3	4,0	21,0	928,6	0,9
Piau	0,0	0,0	0,0	22,0	0,0	0,0	319,9	7,1	11,0	2,6	14,0	376,6	0,4
Piedade de Caratinga	68,0	0,0	0,0	26,2	0,0	0,0	69,3	13,3	6,8	7,5	39,7	230,8	0,2
Piedade de Ponte Nova	0,2	1.163,1	113,8	19,1	0,0	0,0	212,6	45,1	514,0	3,9	20,6	2.092,4	2,1
Piedade do Rio Grande	0,0	0,0	0,0	617,6	40,6	0,0	381,2	9,2	25,5	4,3	23,0	1.101,3	1,1
Piedade dos Gerais	1,1	0,0	0,0	58,8	0,0	0,0	424,9	14,0	16,4	4,6	24,2	543,9	0,5
Pimenta	75,3	0,0	0,0	1.552,9	32,8	0,0	888,2	19,8	24,7	8,0	42,4	2.644,0	2,6
Pingo-d'Água	0,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0	52,0	0,6	2,7	4,5	23,6	133,4	0,1
Pintópolis	0,0	0,0	0,0	40,7	0,0	0,0	1.204,4	28,4	26,0	7,0	36,9	1.343,4	1,3
Piracema	12,9	0,0	0,0	1.164,2	0,0	0,0	764,9	26,7	103,6	6,1	32,1	2.110,5	2,1
Pirajuba	0,0	11.989,2	1.173,1	1.082,9	451,4	0,0	335,2	37,0	65,5	5,2	27,7	15.167,2	15,2
Piranga	7,3	0,0	0,0	766,0	0,0	0,0	426,0	71,1	288,9	16,5	87,4	1.663,3	1,7
Piranguçu	1,5	0,0	0,0	66,6	0,0	0,0	431,6	16,6	19,0	5,1	26,8	567,3	0,6
Piranguinho	24,6	0,0	0,0	27,7	0,0	0,0	470,3	35,9	29,8	7,9	41,8	637,8	0,6
Pirapetinga	4,8	0,0	0,0	14,2	0,0	0,0	494,1	5,7	9,7	10,0	53,0	591,4	0,6
Pirapora	62,5	0,0	0,0	30,2	0,0	0,0	579,9	5,4	5,0	52,1	275,9	1.011,0	1,0
Piraúba	0,0	0,0	0,0	42,5	0,0	0,0	281,4	356,5	21,7	10,2	54,2	766,5	0,8
Pitangui	0,4	0,0	0,0	503,1	0,0	0,0	1.322,9	2.943,9	195,0	25,4	134,3	5.125,1	5,1
Piumhi	414,8	48,9	4,8	3.578,8	27,7	0,0	2.012,8	107,7	50,8	31,7	167,6	6.445,5	6,4
Planura	0,0	7.356,7	719,8	1.264,4	221,9	0,0	221,9	9,1	14,5	10,8	56,9	9.876,0	9,9
Poço Fundo	222,0	0,0	0,0	216,4	0,0	0,0	1.084,4	67,0	30,3	15,5	82,3	1.718,0	1,7
Poços de Caldas	155,1	0,0	0,0	639,6	0,0	0,0	538,7	12,4	31,9	152,2	805,6	2.335,6	2,3
Pocrane	25,8	0,0	0,0	65,5	0,0	0,0	1.565,8	17,6	36,8	8,2	43,4	1.763,2	1,8
Pompéu	0,0	10.735,8	1.050,4	380,3	19,6	0,0	4.147,6	55,5	42,8	29,0	153,4	16.614,4	16,6
Ponte Nova	45,9	994,2	97,3	307,6	0,0	0,0	847,9	32,9	1.761,0	55,5	294,0	4.436,3	4,4
Ponto Chique	0,0	0,0	0,0	19,6	0,0	0,0	1.096,4	10,8	20,7	3,9	20,7	1.172,1	1,2
Ponto dos Volantes	2,6	0,0	0,0	10,3	0,0	0,0	720,9	7,6	16,8	11,1	59,0	828,3	0,8
Porteirinha	0,0	0,0	0,0	96,9	0,0	0,0	2.392,5	86,0	140,2	35,7	189,2	2.940,6	2,9
Porto Firme	27,6	0,0	0,0	462,6	0,0	0,0	259,3	247,6	54,5	10,3	54,6	1.116,5	1,1

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Poté	1,2	0,0	0,0	31,1	0,0	0,0	1.259,6	28,0	51,4	15,3	81,0	1.467,4	1,5
Pouso Alegre	3,2	0,0	0,0	664,5	0,0	0,0	1.478,6	99,7	51,2	134,3	711,0	3.142,5	3,1
Pouso Alto	3,3	0,0	0,0	60,2	0,0	0,0	834,0	351,4	42,4	5,7	30,3	1.327,4	1,3
Prados	1,9	0,0	0,0	791,3	1,9	0,0	325,6	11,7	54,7	8,3	43,8	1.239,2	1,2
Prata	0,0	7.380,8	722,2	831,6	1.083,2	587,6	14.544,8	926,0	733,5	25,5	135,0	26.970,2	27,0
Pratápolis	8,8	512,6	50,2	2.060,2	1,7	0,0	792,4	323,2	10,8	8,2	43,5	3.811,6	3,8
Pratinha	84,7	0,0	0,0	466,4	50,8	0,0	956,1	27,7	19,1	3,3	17,3	1.625,4	1,6
Presidente Bernardes	10,2	0,0	0,0	71,2	0,0	0,0	153,0	25,5	49,4	5,1	27,3	341,6	0,3
Presidente Juscelino	0,0	0,0	0,0	164,0	0,0	0,0	993,0	10,2	11,5	3,6	18,8	1.201,2	1,2
Presidente Kubitschek	1,9	0,0	0,0	11,3	0,0	0,0	52,6	2,1	2,4	2,8	14,9	88,2	0,1
Presidente Olegário	231,8	2.649,7	259,3	6.091,3	1.235,8	0,0	4.964,7	71,9	637,4	18,0	95,4	16.255,4	16,3
Prudente de Morais	0,1	0,0	0,0	21,2	0,0	0,0	313,3	3,7	6,2	9,7	51,2	405,5	0,4
Quartel Geral	14,9	0,0	0,0	159,2	0,0	0,0	992,8	10,5	14,3	3,3	17,3	1.212,3	1,2
Queluzito	0,0	0,0	0,0	71,3	0,0	0,0	245,7	7,2	15,2	1,8	9,5	350,8	0,4
Raposos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	15,1	79,7	100,9	0,1
Raul Soares	129,6	328,8	32,2	234,8	0,0	0,0	1.731,7	53,1	217,9	22,5	119,1	2.869,7	2,9
Recreio	0,3	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	579,7	16,0	49,9	9,9	52,2	711,8	0,7
Reduto	119,5	0,0	0,0	31,6	0,0	0,0	130,0	9,9	20,1	6,5	34,5	352,2	0,4
Resende Costa	3,3	0,0	0,0	189,8	14,9	0,0	697,0	27,5	51,2	10,6	56,3	1.050,6	1,1
Resplendor	18,1	0,0	0,0	156,2	0,0	0,0	3.304,5	16,5	20,1	16,3	86,4	3.618,3	3,6
Ressaquinha	0,0	0,0	0,0	217,9	2,7	0,0	286,8	232,8	23,9	4,5	23,7	792,4	0,8
Riachinho	0,0	0,0	0,0	669,5	337,5	0,0	2.414,0	17,2	46,0	7,6	40,5	3.532,3	3,5
Riacho dos Machados	0,3	0,0	0,0	36,9	0,0	0,0	591,9	27,2	42,8	8,9	47,2	755,2	0,8
Ribeirão das Neves	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	93,1	1,5	27,8	300,7	1.591,9	2.018,3	2,0
Ribeirão Vermelho	11,2	0,0	0,0	141,5	0,0	0,0	115,0	1,8	2,6	3,7	19,7	295,6	0,3
Rio Acima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	0,7	0,3	9,3	49,0	95,0	0,1
Rio Casca	1,4	512,6	50,2	517,1	18,4	0,0	1.201,3	63,7	603,8	13,1	69,3	3.051,0	3,1
Rio do Prado	0,9	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	1.016,0	15,9	44,4	4,9	25,9	1.115,0	1,1
Rio Doce	0,2	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	252,1	5,6	38,2	2,4	12,8	319,5	0,3
Rio Espera	0,2	0,0	0,0	99,0	0,0	0,0	193,3	18,7	23,3	5,4	28,7	368,6	0,4
Rio Manso	0,3	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	283,9	12,8	18,0	5,3	28,0	371,7	0,4
Rio Novo	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	610,0	9,1	19,5	8,4	44,3	700,8	0,7
Rio Paranaíba	603,3	0,0	0,0	6.240,8	886,6	0,0	2.459,1	62,0	416,1	11,5	60,7	10.740,1	10,7
Rio Pardo de Minas	47,7	0,0	0,0	107,3	0,0	0,0	396,1	79,9	39,0	28,5	150,8	849,3	0,8
Rio Piracicaba	0,3	0,0	0,0	76,2	0,0	0,0	550,5	4,8	37,8	13,5	71,4	754,4	0,8
Rio Pomba	0,0	0,0	0,0	264,6	0,0	0,0	618,6	796,7	55,2	16,6	87,9	1.839,6	1,8
Rio Preto	0,4	0,0	0,0	12,3	0,0	0,0	541,9	17,7	2,6	5,1	27,0	607,1	0,6
Rio Vermelho	0,9	0,0	0,0	129,6	0,0	0,0	1.215,8	34,7	69,9	12,5	66,1	1.529,4	1,5
Ritápolis	8,9	0,0	0,0	115,2	2,6	0,0	362,9	10,6	18,4	4,5	23,8	546,8	0,5
Rochedo de Minas	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	176,0	3,7	5,0	2,1	11,1	199,4	0,2
Rodeiro	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	208,2	18,5	3,2	7,2	37,9	285,1	0,3

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Romaria	278,0	38,4	3,8	3.215,0	777,8	9.287,3	385,2	130,8	140,8	3,4	17,8	14.278,3	14,3
Rosário da Limeira	39,3	0,0	0,0	64,9	0,0	0,0	161,8	5,2	10,3	4,2	22,2	308,0	0,3
Rubelita	0,5	0,0	0,0	19,1	0,0	0,0	1.093,8	29,9	48,6	6,4	33,9	1.232,2	1,2
Rubim	0,3	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	2.621,1	21,8	48,0	9,6	50,6	2.768,0	2,8
Sabará	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	93,7	1,4	35,8	124,7	660,5	924,5	0,9
Sabinópolis	1,2	0,0	0,0	73,1	0,0	0,0	1.268,6	34,6	71,1	14,7	78,0	1.541,3	1,5
Sacramento	132,4	9.833,3	962,1	11.858,7	2.113,0	443,1	4.931,4	151,5	34,2	23,8	126,1	30.609,6	30,6
Salinas	0,1	0,0	0,0	136,2	0,0	0,0	2.076,0	68,3	108,1	38,3	202,7	2.629,6	2,6
Salto da Divisa	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	2.544,6	7,5	29,9	6,6	34,8	2.627,1	2,6
Santa Bárbara	1,6	0,0	0,0	18,1	0,0	0,0	197,2	6,3	3,0	28,1	148,7	402,9	0,4
Santa Bárbara do Leste	85,2	0,0	0,0	21,7	0,0	0,0	49,7	3,4	10,1	7,5	39,8	217,4	0,2
Santa Bárbara do Monte Verde	0,4	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	590,7	12,5	13,8	2,8	15,0	639,8	0,6
Santa Bárbara do Tugúrio	0,4	0,0	0,0	158,5	0,0	0,0	383,5	4,9	9,2	4,2	22,5	583,3	0,6
Santa Cruz de Minas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,6	1,8	7,8	41,5	53,2	0,1
Santa Cruz de Salinas	0,2	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	550,8	15,8	24,9	4,0	21,3	629,6	0,6
Santa Cruz do Escalvado	1,9	698,0	68,3	71,7	0,0	0,0	652,5	7,9	424,3	4,6	24,3	1.953,6	2,0
Santa Efigênia de Minas	0,2	0,0	0,0	30,6	0,0	0,0	212,3	8,3	9,1	4,2	22,5	287,3	0,3
Santa Fé de Minas	0,0	0,0	0,0	62,3	0,0	0,0	1.262,8	12,3	10,2	3,7	19,5	1.370,8	1,4
Santa Helena de Minas	0,1	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	694,2	7,1	10,7	5,9	31,2	751,1	0,8
Santa Juliana	1,0	12.105,0	1.184,4	2.883,3	942,1	0,0	1.160,3	406,3	941,8	12,1	64,3	19.700,6	19,7
Santa Luzia	0,0	0,0	0,0	67,0	0,0	0,0	223,1	0,6	31,5	200,8	1.063,1	1.586,1	1,6
Santa Margarida	380,5	0,0	0,0	356,3	0,0	0,0	190,1	25,1	48,3	14,8	78,6	1.093,7	1,1
Santa Maria de Itabira	0,3	0,0	0,0	32,2	0,0	0,0	775,2	60,6	34,7	10,1	53,7	966,9	1,0
Santa Maria do Salto	0,3	0,0	0,0	19,9	0,0	0,0	653,6	17,8	62,0	5,0	26,3	784,9	0,8
Santa Maria do Suaçuí	1,1	0,0	0,0	171,2	0,0	0,0	1.286,3	21,8	48,5	13,7	72,7	1.615,3	1,6
Santa Rita de Caldas	8,7	0,0	0,0	899,5	0,0	0,0	1.437,9	27,6	41,2	8,5	45,0	2.468,4	2,5
Santa Rita de Ibitipoca	0,0	0,0	0,0	231,0	0,0	0,0	405,0	2,7	13,1	3,3	17,5	672,6	0,7
Santa Rita de Jacutinga	0,0	0,0	0,0	32,5	0,0	0,0	675,6	10,5	37,8	4,7	24,7	785,7	0,8
Santa Rita de Minas	80,6	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0	95,8	5,3	4,7	6,5	34,7	247,1	0,2
Santa Rita do Itueto	255,1	0,0	0,0	83,5	0,0	0,0	697,7	6,6	7,1	5,3	27,9	1.083,2	1,1
Santa Rita do Sapucaí	197,3	0,0	0,0	82,4	0,0	0,0	905,6	79,0	33,1	38,6	204,6	1.540,8	1,5
Santa Rosa da Serra	103,2	0,0	0,0	431,8	0,0	0,0	410,9	2,7	5,7	3,1	16,5	974,0	1,0
Santa Vitória	0,0	26.401,3	2.583,2	407,1	65,7	0,0	9.866,7	31,0	348,9	18,0	95,4	39.817,2	39,8
Santana da Vargem	225,5	0,0	0,0	344,3	34,1	0,0	116,2	5,3	19,9	6,8	35,8	787,9	0,8
Santana de Cataguases	0,0	0,0	0,0	20,8	0,0	0,0	337,9	5,1	7,8	3,6	18,8	394,0	0,4
Santana de Pirapama	0,2	0,0	0,0	237,6	0,0	0,0	1.014,2	611,0	47,0	7,4	39,1	1.956,4	2,0
Santana do Deserto	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	243,7	3,2	20,0	3,7	19,7	294,4	0,3
Santana do Garambéu	0,0	0,0	0,0	93,2	0,0	0,0	179,6	5,1	13,4	2,2	11,8	305,3	0,3
Santana do Jacaré	13,8	0,0	0,0	14,6	0,0	0,0	239,5	84,4	18,2	4,5	23,7	398,6	0,4
Santana do Manhuaçu	172,9	0,0	0,0	377,0	0,0	0,0	388,3	19,6	50,4	8,2	43,2	1.059,7	1,1
Santana do Paraíso	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	218,2	4,6	9,8	29,7	157,5	425,9	0,4

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Santana do Riacho	0,0	0,0	0,0	19,1	0,0	0,0	159,3	8,9	11,0	3,9	20,9	223,1	0,2
Santana dos Montes	0,0	0,0	0,0	116,3	0,0	0,0	243,4	9,9	11,1	3,6	19,0	403,3	0,4
Santo Antônio do Amparo	313,5	0,0	0,0	148,6	0,0	209,2	601,2	5,5	29,0	17,0	90,2	1.414,3	1,4
Santo Antônio do Aventureiro	0,1	0,0	0,0	19,3	0,0	0,0	660,6	4,4	11,0	3,4	17,9	716,7	0,7
Santo Antônio do Grama	9,0	658,1	64,4	87,9	0,0	0,0	289,1	5,7	138,8	3,8	20,0	1.276,7	1,3
Santo Antônio do Itambé	0,1	0,0	0,0	53,4	0,0	0,0	451,6	7,4	13,3	3,8	19,9	549,5	0,5
Santo Antônio do Jacinto	1,6	0,0	0,0	18,6	0,0	0,0	1.429,6	29,7	95,9	11,1	58,6	1.645,0	1,6
Santo Antônio do Monte	1,4	120,8	11,8	166,8	0,0	0,0	3.126,2	894,6	39,6	25,8	136,5	4.523,5	4,5
Santo Antônio do Retiro	2,1	0,0	0,0	11,7	0,0	0,0	155,6	14,0	13,6	6,7	35,7	239,3	0,2
Santo Antônio do Rio Abaixo	0,1	0,0	0,0	24,3	0,0	0,0	255,0	2,7	8,5	1,7	8,9	301,1	0,3
Santo Hipólito	0,0	358,1	35,0	136,8	7,2	0,0	1.018,5	16,7	5,9	3,0	15,8	1.596,9	1,6
Santos Dumont	0,0	0,0	0,0	61,4	0,0	0,0	1.061,0	17,4	54,1	43,9	232,3	1.470,2	1,5
São Bento Abade	55,0	0,0	0,0	772,4	23,0	0,0	115,9	1,6	3,3	4,7	24,9	1.000,9	1,0
São Brás do Suaçuí	0,1	0,0	0,0	164,2	0,0	0,0	125,5	3,7	4,0	3,4	18,2	319,3	0,3
São Domingos das Dores	118,1	0,0	0,0	20,8	0,0	0,0	18,0	6,2	10,7	5,2	27,7	207,0	0,2
São Domingos do Prata	9,5	170,0	16,6	356,9	0,0	0,0	1.345,1	9,9	57,4	16,4	86,9	2.068,7	2,1
São Félix de Minas	1,1	0,0	0,0	59,2	0,0	0,0	501,6	7,6	13,8	3,2	16,9	603,3	0,6
São Francisco	0,0	0,0	0,0	53,7	0,0	0,0	5.021,0	100,0	140,2	52,2	276,6	5.643,7	5,6
São Francisco de Paula	97,8	0,0	0,0	219,2	0,0	0,0	572,6	12,7	11,4	6,2	32,6	952,6	1,0
São Francisco de Sales	0,0	14.148,1	1.384,3	28,6	16,4	0,0	3.757,4	14,9	23,6	5,7	30,2	19.409,4	19,4
São Francisco do Glória	55,7	0,0	0,0	21,3	0,0	0,0	343,0	3,1	21,5	4,7	25,0	474,4	0,5
São Geraldo	7,3	0,0	0,0	28,0	0,0	0,0	305,3	228,4	28,4	10,8	57,3	665,5	0,7
São Geraldo da Piedade	0,1	0,0	0,0	54,5	0,0	0,0	452,1	15,6	31,4	3,9	20,8	578,4	0,6
São Geraldo do Baixio	3,6	0,0	0,0	14,5	0,0	0,0	721,7	9,3	22,8	3,6	18,9	794,5	0,8
São Gonçalo do Abaeté	19,3	385,3	37,7	1.630,7	149,7	0,0	1.692,6	22,1	64,4	6,3	33,4	4.041,6	4,0
São Gonçalo do Pará	0,0	0,0	0,0	31,3	0,0	0,0	637,3	377,0	79,6	10,9	57,8	1.193,9	1,2
São Gonçalo do Rio Abaixo	0,4	0,0	0,0	49,8	0,0	0,0	468,0	117,9	37,0	9,9	52,2	735,2	0,7
São Gonçalo do Rio Preto	1,2	0,0	0,0	20,9	0,0	0,0	135,7	2,7	5,4	2,9	15,6	184,5	0,2
São Gonçalo do Sapucaí	243,3	0,0	0,0	1.033,0	83,3	0,0	1.232,0	13,5	21,6	23,4	124,1	2.774,3	2,8
São Gotardo	101,2	0,0	0,0	1.781,2	143,2	0,0	2.107,3	31,9	94,4	32,0	169,7	4.460,9	4,5
São João Batista do Glória	12,7	1.017,5	99,6	1.608,4	14,3	0,0	1.170,8	20,1	261,5	6,8	36,1	4.247,7	4,2
São João da Lagoa	0,3	0,0	0,0	98,1	0,0	227,5	1.161,7	43,6	47,5	4,5	24,0	1.607,3	1,6
São João da Mata	33,1	0,0	0,0	175,1	0,0	0,0	327,2	8,4	12,5	2,6	13,7	572,7	0,6
São João da Ponte	0,0	0,0	0,0	71,2	0,0	0,0	4.028,6	96,3	122,4	23,9	126,4	4.468,8	4,5
São João das Missões	0,0	0,0	0,0	34,3	0,0	0,0	647,5	15,4	50,3	11,8	62,3	821,5	0,8
São João del Rei	6,7	0,0	0,0	2.214,8	83,8	0,0	1.477,0	71,8	66,6	82,9	438,9	4.442,6	4,4
São João do Manhuaçu	295,3	0,0	0,0	85,0	0,0	0,0	75,8	8,6	20,9	10,4	55,0	551,0	0,6
São João do Manteninha	6,6	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0	732,0	4,8	10,4	5,3	27,9	798,1	0,8
São João do Oriente	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	444,6	7,2	8,8	7,2	38,4	515,7	0,5
São João do Pacuí	3,2	0,0	0,0	68,1	0,0	0,0	692,0	30,9	36,1	4,0	21,3	855,7	0,9
São João do Paraíso	15,8	0,0	0,0	50,1	0,0	254,3	396,4	52,1	65,9	21,8	115,4	971,9	1,0

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
São João Evangelista	0,5	0,0	0,0	299,4	0,0	0,0	1.001,6	33,3	40,2	14,8	78,5	1.468,4	1,5
São João Nepomuceno	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	894,2	18,7	61,7	24,4	129,2	1.131,2	1,1
São Joaquim de Bicas	0,0	0,0	0,0	11,7	0,0	0,0	101,8	6,0	5,8	27,4	145,0	297,6	0,3
São José da Barra	98,1	743,7	72,8	783,2	3,8	0,0	463,0	129,8	237,8	6,8	35,8	2.574,6	2,6
São José da Lapa	0,0	0,0	0,0	9,9	0,0	0,0	60,5	382,3	29,3	20,8	110,4	613,2	0,6
São José da Safira	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	396,6	21,6	12,6	4,0	21,0	471,2	0,5
São José da Varginha	0,0	0,0	0,0	89,6	0,0	0,0	729,9	6.675,4	478,0	4,4	23,3	8.000,7	8,0
São José do Alegre	3,6	0,0	0,0	47,2	0,0	0,0	334,3	10,8	28,6	3,9	20,6	448,9	0,4
São José do Divino	0,1	0,0	0,0	28,1	0,0	0,0	867,9	8,0	12,3	3,6	19,3	939,2	0,9
São José do Goiabal	0,3	103,8	10,2	30,5	0,0	0,0	431,7	4,2	13,9	5,2	27,6	627,3	0,6
São José do Jacuri	0,3	0,0	0,0	157,9	0,0	0,0	641,2	16,8	25,0	6,1	32,5	879,8	0,9
São José do Mantimento	24,2	0,0	0,0	26,0	0,0	0,0	109,8	6,2	11,8	2,6	13,5	194,1	0,2
São Lourenço	2,2	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	96,8	20,7	4,7	41,6	220,5	391,0	0,4
São Miguel do Anta	45,3	0,0	0,0	333,3	0,0	0,0	162,4	1.233,8	49,7	6,5	34,4	1.865,4	1,9
São Pedro da União	163,8	0,0	0,0	352,4	43,2	0,0	464,7	31,4	48,2	4,6	24,2	1.132,4	1,1
São Pedro do Suaçuí	0,4	0,0	0,0	122,7	0,0	0,0	658,4	14,5	23,7	5,1	27,0	851,7	0,9
São Pedro dos Ferros	0,6	3.082,3	301,6	110,7	0,0	0,0	711,6	390,4	14,1	7,6	40,2	4.659,2	4,7
São Romão	0,0	0,0	0,0	1.211,4	180,1	0,0	1.605,1	18,5	15,1	10,8	57,3	3.098,3	3,1
São Roque de Minas	140,6	0,0	0,0	1.503,0	10,1	0,0	2.772,7	29,2	51,2	6,5	34,5	4.547,8	4,5
São Sebastião da Bela Vista	36,9	0,0	0,0	191,8	0,0	0,0	449,7	10,4	15,1	5,0	26,4	735,2	0,7
São Seb. da Vargem Alegre	32,2	0,0	0,0	26,6	0,0	0,0	131,6	2,2	3,7	2,8	14,6	213,6	0,2
São Sebastião do Anta	74,1	0,0	0,0	110,7	0,0	0,0	83,1	7,1	9,9	5,9	31,0	321,9	0,3
São Sebastião do Maranhão	1,3	0,0	0,0	283,8	0,0	0,0	915,0	42,4	47,2	9,7	51,6	1.350,9	1,4
São Sebastião do Oeste	0,3	0,0	0,0	133,1	0,0	0,0	1.060,2	6.666,2	110,1	6,0	31,8	8.007,7	8,0
São Sebastião do Paraíso	419,3	6.224,0	609,0	1.848,1	5,3	0,0	1.737,8	577,6	41,5	64,7	342,3	11.869,6	11,9
São Sebastião do Rio Preto	0,0	0,0	0,0	17,7	0,0	0,0	209,7	3,9	4,1	1,5	7,8	244,7	0,2
São Sebastião do Rio Verde	0,0	0,0	0,0	50,6	0,0	0,0	222,5	10,1	14,5	2,1	10,9	310,8	0,3
São Thomé das Letras	33,8	0,0	0,0	1.316,4	0,0	0,0	569,0	8,6	13,7	6,5	34,5	1.982,6	2,0
São Tiago	23,4	0,0	0,0	128,3	0,0	0,0	942,4	21,5	36,2	10,2	54,0	1.216,0	1,2
São Tomás de Aquino	213,0	1.070,2	104,7	714,9	7,5	0,0	515,7	125,3	9,3	6,7	35,3	2.802,6	2,8
São Vicente de Minas	0,0	0,0	0,0	596,1	10,6	0,0	652,3	4,3	29,6	7,0	37,2	1.337,1	1,3
Sapucaí-Mirim	0,1	0,0	0,0	59,9	0,0	0,0	246,6	10,5	29,2	6,3	33,2	385,8	0,4
Sardoá	0,4	0,0	0,0	117,7	0,0	0,0	149,2	11,7	11,7	5,7	30,0	326,4	0,3
Sarzedo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,2	0,2	8,9	28,1	148,9	229,3	0,2
Sem-Peixe	0,3	300,9	29,4	59,0	0,0	0,0	451,3	3,1	13,4	2,6	13,6	873,7	0,9
Sen. Amaral	0,0	0,0	0,0	308,8	0,0	0,0	257,1	2,8	4,9	5,0	26,5	605,2	0,6
Sen. Cortes	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	239,4	5,7	16,1	1,9	10,0	274,8	0,3
Sen. Firmino	9,5	0,0	0,0	149,7	0,0	0,0	192,8	89,7	18,6	7,1	37,8	505,2	0,5
Sen. José Bento	30,5	0,0	0,0	58,8	0,0	0,0	317,4	5,2	6,6	1,6	8,3	428,4	0,4
Sen. Modestino Gonçalves	3,7	0,0	0,0	101,5	0,0	224,4	308,9	29,8	32,8	4,1	21,7	726,9	0,7
Senhora de Oliveira	11,5	0,0	0,0	54,9	0,0	0,0	104,8	18,7	43,0	5,4	28,8	267,2	0,3

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Bagaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Senhora do Porto	0,1	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	500,0	10,1	12,2	3,3	17,6	560,6	0,6
Senhora dos Remédios	2,9	0,0	0,0	892,5	0,0	0,0	475,2	8,5	26,7	9,8	51,8	1.467,4	1,5
Sericita	169,9	0,0	0,0	86,6	0,0	0,0	146,5	8,6	24,0	6,8	36,2	478,6	0,5
Seritinga	0,0	0,0	0,0	85,0	0,0	527,0	177,5	4,9	9,3	1,7	9,1	814,5	0,8
Serra Azul de Minas	0,4	0,0	0,0	23,6	0,0	0,0	229,5	12,0	9,3	4,0	21,3	300,2	0,3
Serra da Saudade	0,0	0,0	0,0	54,5	0,5	0,0	723,0	3,7	21,5	0,8	4,0	807,9	0,8
Serra do Salitre	681,6	0,0	0,0	1.992,4	278,7	0,0	2.257,3	29,6	189,2	10,5	55,7	5.494,9	5,5
Serra dos Aimorés	0,0	2.374,2	232,3	1,3	0,0	0,0	1.004,8	4,5	11,2	8,1	42,9	3.679,4	3,7
Serrania	113,6	518,8	50,8	377,2	10,6	0,0	590,4	8,1	10,3	7,2	38,1	1.725,2	1,7
Serranópolis de Minas	0,6	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	418,3	11,7	20,6	4,4	23,2	484,9	0,5
Serranos	0,1	0,0	0,0	63,4	0,0	0,0	368,6	4,8	17,9	1,9	9,9	466,6	0,5
Serro	1,7	0,0	0,0	235,6	0,0	0,0	1.383,0	37,9	66,0	19,8	104,7	1.848,6	1,8
Sete Lagoas	0,0	0,0	0,0	136,6	5,6	0,0	764,9	281,7	320,1	216,1	1.144,2	2.869,3	2,9
Setubinha	17,4	0,0	0,0	37,9	0,0	0,0	190,0	11,0	32,8	11,0	58,4	358,4	0,4
Silveirânia	0,1	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	343,7	21,6	44,7	2,1	11,2	439,9	0,4
Silvianópolis	52,8	0,0	0,0	376,1	7,6	0,0	1.036,9	20,2	34,1	5,8	30,8	1.564,3	1,6
Simão Pereira	0,2	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	249,9	7,6	4,8	2,4	12,9	281,7	0,3
Simonésia	245,7	0,0	0,0	350,9	0,0	0,0	205,4	22,1	49,2	18,0	95,4	986,8	1,0
Sobrália	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	646,5	12,3	6,4	5,4	28,4	704,8	0,7
Soledade de Minas	13,3	0,0	0,0	124,2	0,0	0,0	515,8	13,2	12,9	5,6	29,8	714,9	0,7
Tabuleiro	0,0	0,0	0,0	23,8	0,0	0,0	522,4	73,5	15,6	3,7	19,5	658,5	0,7
Taiobeiras	77,3	0,0	0,0	56,0	0,0	284,6	700,9	27,6	56,7	31,0	164,0	1.398,1	1,4
Taparuba	7,3	0,0	0,0	103,9	0,0	0,0	443,3	10,1	13,0	3,0	15,6	596,2	0,6
Tapira	14,3	0,0	0,0	1.225,9	83,7	0,0	1.753,2	18,7	16,6	4,2	22,5	3.139,2	3,1
Tapiraí	84,8	31,7	3,1	319,7	11,7	0,0	709,6	15,5	21,0	1,8	9,4	1.208,2	1,2
Taquaraçu de Minas	0,1	0,0	0,0	14,7	0,0	0,0	283,3	2,5	11,0	3,7	19,8	335,2	0,3
Tarumirim	3,5	0,0	0,0	210,9	0,0	0,0	1.930,8	48,7	51,6	13,5	71,7	2.330,6	2,3
Teixeiras	32,1	0,0	0,0	231,4	0,0	0,0	226,6	444,3	312,3	10,9	57,7	1.315,3	1,3
Teófilo Otoni	2,5	0,0	0,0	55,6	0,0	0,0	6.821,7	117,2	248,0	130,6	691,3	8.066,9	8,1
Timóteo	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	47,9	3,3	2,5	81,4	431,2	567,0	0,6
Tiradentes	0,1	0,0	0,0	117,7	0,0	0,0	106,3	4,0	15,5	7,1	37,7	288,5	0,3
Tiros	115,9	35,2	3,4	808,5	67,4	0,0	2.846,9	7,7	106,4	6,3	33,4	4.031,1	4,0
Tocantins	0,0	0,0	0,0	42,1	0,0	0,0	412,8	93,7	24,5	15,4	81,6	670,1	0,7
Tocos do Moji	5,8	0,0	0,0	49,6	0,0	0,0	424,9	14,7	16,6	3,8	20,2	535,6	0,5
Toledo	0,0	0,0	0,0	113,9	0,0	0,0	264,4	5,9	14,3	5,7	30,3	434,5	0,4
Tombos	37,4	0,0	0,0	60,1	0,0	0,0	671,3	5,9	31,4	8,2	43,5	857,8	0,9
Três Corações	293,7	0,0	0,0	4.101,5	246,2	0,0	1.829,6	12,9	31,5	72,4	383,4	6.971,3	7,0
Três Marias	0,0	0,0	0,0	473,6	34,3	0,0	1.261,9	26,4	2,7	28,9	153,2	1.981,0	2,0
Três Pontas	746,4	0,0	0,0	1.369,7	79,0	0,0	804,9	11,2	24,3	52,5	277,9	3.365,9	3,4
Tumiritinga	0,0	0,0	0,0	43,7	0,0	0,0	1.113,3	30,4	45,1	6,2	32,8	1.271,3	1,3
Tupaciguara	12,7	10.528,0	1.030,1	2.681,5	2.089,9	0,0	4.648,6	425,5	415,1	23,5	124,3	21.979,2	22,0

Fonte	Café	Cana-de-açúcar Babaço	Cana-de-açúcar Vinhaça	Milho	Soja	Silvicultura	Efluentes Líquidos Bovinos	Efluentes Líquidos Aves	Efluentes Líquidos Suínos	Efluentes Líquidos Domésticos	Resíduos Sólidos Urbanos	Total kW/ano	Total MW/ano
Potencial kW/ano		(60 kW/t)											
Município													
Turmalina	26,7	0,0	0,0	36,0	0,0	0,0	181,0	28,4	30,0	18,1	95,8	416,1	0,4
Turvolândia	78,9	0,0	0,0	642,9	2,2	0,0	536,3	14,3	21,1	4,6	24,4	1.324,6	1,3
Ubá	0,3	0,0	0,0	62,8	0,0	0,0	775,1	370,9	45,2	103,5	548,1	1.905,8	1,9
Ubaí	0,0	0,0	0,0	25,2	0,0	0,0	1.338,8	22,6	48,7	11,5	60,9	1.507,7	1,5
Ubaporanga	125,6	0,0	0,0	89,4	0,0	0,0	211,9	15,2	14,9	11,6	61,5	530,2	0,5
Uberaba	37,4	59.844,0	5.855,3	24.438,7	6.912,6	6.327,7	7.845,7	4.361,5	551,0	300,1	1.589,1	118.063,0	118,1
Uberlândia	19,7	4.388,1	429,3	10.339,2	4.027,8	507,2	9.021,3	11.439,5	14.589,9	617,9	3.271,6	58.651,6	58,7
Umburatiba	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	395,2	1.199,2	4,1	12,5	2,5	13,3	1.627,0	1,6
Unaí	279,8	5.880,4	575,4	19.407,3	9.767,0	0,0	13.587,6	208,9	329,4	77,0	407,7	50.520,3	50,5
União de Minas	0,0	12.757,1	1.248,2	56,3	7,8	0,0	4.464,8	18,6	36,5	4,1	21,8	18.615,2	18,6
Uruana de Minas	0,0	0,0	0,0	587,5	280,1	0,0	765,1	7,7	17,2	3,1	16,3	1.676,9	1,7
Urucânia	1,4	4.686,4	458,5	34,6	0,0	0,0	201,5	21,6	3.512,8	9,8	51,7	8.978,4	9,0
Urucuia	71,5	0,0	0,0	44,5	0,3	0,0	1.357,6	33,7	38,9	14,6	77,3	1.638,4	1,6
Vargem Alegre	9,7	0,0	0,0	39,5	0,0	0,0	309,2	9,1	6,3	6,1	32,4	412,3	0,4
Vargem Bonita	44,1	0,0	0,0	210,6	0,0	0,0	667,1	5,4	9,1	2,0	10,8	949,1	0,9
Vargem Grande do Rio Pardo	2,2	0,0	0,0	17,4	0,0	0,0	111,4	12,2	19,2	4,6	24,5	191,6	0,2
Varginha	268,7	0,0	0,0	241,9	0,0	0,0	673,3	3,5	14,8	123,1	651,6	1.976,9	2,0
Varjão de Minas	93,6	2.131,0	208,5	1.596,9	321,1	0,0	1.343,4	12,7	672,6	6,3	33,5	6.419,6	6,4
Várzea da Palma	54,3	0,0	0,0	562,3	0,0	410,9	3.541,8	19,6	8,9	35,8	189,7	4.823,3	4,8
Varzelândia	0,0	0,0	0,0	59,2	0,0	0,0	1.244,5	38,0	59,0	18,2	96,3	1.515,1	1,5
Vazante	0,0	0,0	0,0	603,5	131,1	0,0	3.660,5	42,5	99,7	19,1	101,2	4.657,5	4,7
Verdelândia	0,0	0,0	0,0	111,7	0,0	0,0	2.123,8	28,1	42,3	8,4	44,7	2.359,0	2,4
Veredinha	0,5	0,0	0,0	23,1	0,0	0,0	81,6	13,2	48,3	5,3	28,3	200,3	0,2
Veríssimo	0,0	9.167,7	897,0	268,1	282,4	0,0	2.465,1	229,0	65,6	3,6	18,9	13.397,3	13,4
Vermelho Novo	88,5	0,0	0,0	91,4	0,0	0,0	136,5	9,1	36,3	4,5	23,9	390,2	0,4
Vespasiano	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	48,8	0,2	2,6	111,2	588,7	752,0	0,8
Viçosa	82,4	0,0	0,0	532,9	0,0	0,0	366,5	635,8	72,8	71,8	380,4	2.142,7	2,1
Vieiras	93,9	0,0	0,0	11,3	0,0	0,0	286,2	5,1	16,6	3,5	18,3	434,9	0,4
Virgem da Lapa	0,0	0,0	0,0	47,5	0,0	0,0	681,7	15,7	35,0	13,0	68,6	861,4	0,9
Virgínia	12,2	0,0	0,0	311,2	0,0	0,0	873,0	23,2	47,2	8,2	43,3	1.318,3	1,3
Virginópolis	3,9	0,0	0,0	315,8	0,0	437,4	624,9	16,8	31,3	10,0	52,8	1.492,8	1,5
Virgolândia	0,2	0,0	0,0	105,9	0,0	0,0	594,4	16,8	30,8	5,2	27,5	780,9	0,8
Visconde do Rio Branco	2,2	0,0	0,0	90,0	0,0	0,0	517,9	591,3	34,9	38,4	203,1	1.477,8	1,5
Volta Grande	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	466,2	0,8	1,4	4,9	25,9	505,4	0,5
Wenceslau Braz	0,0	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	279,8	11,0	21,1	2,4	12,8	350,7	0,4
	41.558,0	**687.675,5**	**67.284,3**	**452.275,1**	**91.999,6**	**97.938,7**	**916.907,5**	**120.403,8**	**81.669,6**	**19.375,0**	**102.582,0**	**2.679.669,0**	**2680**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO 1

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen›s climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANEEL – Agência Brasileira de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração – Matriz de Energia Elétrica, 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

BRASIL. Decreto Presidencial no 7.660 – Aprova a Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados. 23 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/decreto/d7660.htm>.

BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; TAKITANE, I. C. Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais. Ceres, v. 56, n. 4, 2015.

EIA - Energy Information Administration. Renewable Energy - Official Energy Statistics from the U.S. Government, 2016. Disponível em: <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=renewable_home>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030, cap 8: Geração Termelétrica – Biomassa. 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf>

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2014: ano base 2013.

Ministério de Minas e Energia, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. n. 100. Ministério de Minas e Energia, 2016. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Resenha%20Mensal%20-%20Dezembro%202015.pdf>.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BON, E. P. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. Waste and Biomass Valorization, v. 1, n. 1, p. 65-76, 2010.

GAZZONI, D. L. As políticas públicas de biocombustíveis e o mercado de oleaginosas. EMBRAPA, 2006. Disponível em: <http://200.144.182.46/midiateca/apresentacao/politicaspublicasgazzoni.pdf>.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces. Version 1.4. 2006. Disponível em <www. worldclim. org>.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Regionais do Brasil 2012. Contas Nacionais, N. 42. 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Regionais/2012/pdf/contas_regionais_2012.pdf>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2015. Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm>.

KHACHATRYAN, Hayk; JESSUP, Eric; CASAVANT, Kenneth. A GIS-based Estimation of Regional Biomass Supply and Transportation Costs for Biofuel Plant Least-Cost Location Decisions. Transportation Research Forum, 2010.

LORA, E.S.; ANDRADE, R.V. Biomass as energy source in Brazil. Renewable and sustainable energy reviews, v. 13, p. 777–788, 2009.

MIURA, A. K.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; LUIZ, A. J. B.; dos ANJOS, S. D.; TEMPERADO, E. C. Potencial das áreas disponíveis ao cultivo de biomassa para produção de energia, nas Microrregiões Sulriograndenses de Cerro Largo, Santa Rosa e Santo Ângelo. Santa Rosa e Santo Ângelo, Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, Brasil, v. 30. 2011.

OSCAR Jr, A.; SILVA, W. L.; RUFFATO, V.; BARRETO, R.; FREITAS, M. Evaluation of Renewable Energy Vulnerability to Climate Change in Brazil: A Case Study of Biofuels and Solar Energy. Smart Grid and Renewable Energy, v. 6, n. 8, p. 221, 2015.

PAISH, Oliver. Small hydro power: technology and current status. Renewable and sustainable energy reviews, v. 6, n. 6, p. 537-556, 2002.

PEREIRA Jr., A. O.; PEREIRA, A. S.; LA ROVERE, E. L.; BARATA, M. M. L.; VILLAR, S. C.; PIRES, S. H. Strategies to promote renewable energy in Brazil. Renewable and sustainable energy reviews, v. 15, n. 1, p. 681-688, 2011.

PEREIRA Jr., A. O.; COSTA, R. C.; COSTA, C. V.; MARRECO, J. M.; LA ROVERE, E. L. Perspectives for the expansion of renewable

energy sources in Brazil. Renewable and sustainable energy reviews, v. 23, p. 49-59, 2013.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. D.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar. INPE, 2006.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; da SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, 2012.

RANTA, Tapio. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production–a GIS-based availability analysis in Finland. Biomass and Bioenergy, v. 28, n. 2, p. 171-182, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S.; MOUNTS, D. J.; MENEZES, S. J. C.; ROCHA, R. R. C.; CHAVES, M. A.; CASTRO, N. L. M.; BARROS, K. O.; MARTINS, B. F.; GLERIANI, J. M.; SOARES, V. P. An Equitable Approach for Compensating Municipalities of the Rio Grande Watershed for Electricity Generated by the Furnas Hydropower Plant, Brazil. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 40, n. 7, p. 913, 2015.

TENERELLI, Patrizia; MONTELEONE, M. A. Combined land-crop multicriteria evaluation for agro-energy planning. Italy: SUSTOIL. University of Foggia. 2008.

TOLMASQUIM, M. Plano Nacional de energia 2030. Conselho Nacional de Política Energética-CNPE, Brasilia, 2007;1(10).

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D.; KOUKIOS, E. G. Aessessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Biomass and Bioenergy, v. 20, n. 2, p. 101-112, 2001.

WORLD COMMISSION ON DAMS. Dams and Development: A New Framework for Decision-making: the Report of the World Commission on Dams. Earthscan, 2000.

CAPÍTULO 2

ALFONSI, W. M. V., BOSCHI, R. R., EVANGELISTA, B. A., ALFONSI, R. R., BONIDE, A. G.; SANS, L. M., WREGE, M. S. Zoneamento agrícola de risco climático do Eucalyptus grandis para a região Sudeste do Brasil. In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 18 a 21 de julho de 2011. Guarapari-ES.

ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama - SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. Resumos expandidos... Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v.2, p.790.

ASSAD, E. D., PINTO, H. S., JUNIOR, J. Z., ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p. 1057- 1064, 2004.

AVELAR, R. C. Característica fitotécnicas do pinhão-manso, visando à colheita mecanizada. 2009. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

BAMBINI, M. D.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S.; OTAVIAN, A. F.; KOENIGKAN, L. V.; EVANGELISTA, S. R. M. Manual on-line do sistema Agritempo versão 2.0. Campinas: Embrapa informática Agropecuária, 2015. 70 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 132). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127739/1/Livro-Doc132.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2017.

BELTRÃO N. E. M., ARAUJO, A. E., GONÇALVES, N. P., AMARAL, J. A. B., SEVERINO, L. S., CARDOSO, G. D., CARDOSO, G. Q. Oferta ambiental, via zoneamento agroecológico, para a ricinicultura na Região Norte de Minas Gerais. In: I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade. Nov. 2004, Campina Grande, PB.

BELTRÃO N. E. M., OLIVEIRA, M. I. P., BRITO, G. G., FIDELIS FILHO, J. Mamona. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 225-235.

BERGAMASCHI, H., MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 237-260.

CAVIGLIONE, J. H.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P. H.; FONSECA JUNIOR, N. S.; OLIVEIRA, D.; YAMAOKA, R.S. Zoneamento Da Mamona no estado do Paraná. In: III Congresso Brasileiro de Mamona, 2008, Salvador. Anais. Salvador: Embrapa, 2008.

CORREA, L. A., SANTOS, P. M. Irrigação de pastagens formadas por gramíneas forrageiras tropicais. Circular Técnica, 48. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. 2006. 6p.

DOHLER, R. E.; KLIPPEL, A. H.; XAVIER, A. C.; PIMENTA, L. R.; CASTRO, F. S. Análise temporal da necessidade de irrigação para o Eucalyptus grandis no município de São Mateus-ES. Enciclopédia Biosfera, v. 10, p. 118-127, 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.K. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p.

DURÃES, F. O. M.; Potenciais e oportunidades para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva para a macaúba. Workshop sobre a macaúba, Apresentação, Secretaria Estadual de Agricultura pecuária e abastecimento de Minas Gerais, Belo Horizonte,

2008.

FAVARIN, J. L.; OLIVEIRA, A. C. B. Zoneamento Agrícola: há o que se considerar? Visão Agrícola, nº 12, p 88-89, jan-jun 2013.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data. 2:150066 doi: 10.1038/sdata.2015.66 (2015).

GOLFARI, L. - Zoneamento Ecológico do Estado de Minas Gerais para Reflorestamento. Belo Horizonte, MG: PRODEPEF, 1975 (Série Técnica, 3, p.65).

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. F.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (2009). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

MARIN, F.R.; PELLEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana de açúcar. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p.111-130.

MOTA, F. S. Meteorologia agrícola. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N. OLIVEIRA-FILHO, A. T.; GOMES, J. B. V. Occurrence of macauba in Minas Gerais, Brazil: relationship with climatic, pedological and 45 vegetation attributes. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 37, p. 1023-1031, 2002.

PEZZOPANE, J. E. M. et al. Agrometeorologia: aplicações para o Espírito Santo. Alegre, ES: CAUFES, 2012. 174 p.

POETSCH, J. et al. Acrocomia aculeata — a sustainable oil crop. Rural 21, v. 3, p.41-44, 2012.

POSSAS, J. M. C., CORREA, M. M., MOURA, G.B. A., LOPES, P. M.O., CALDAS, A. M., FONTES JUNIOR, R. V. P. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, n.9, p.993–998, 2012

RESENDE, J. C. F., PIMENTEL, R. M. A., JUHÁSZ, A. C. P., SILVA, V. A. Pinhão-manso. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Ed.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p.465-476.

RIBEIRO, M. S. Coeficientes de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de 'Acaia Cerrado' (Coffea arábica L) associados a graus-dia (2º ano). 2006. 83p Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, MG.

ROSCOE, R., RICHETTI, A., e MARANHO, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. Revista Política Agrícola, 16, 48-59, 2007.

SATO, F. A., SILVA, A. M., COELHO, G., SILVA, A. C., CARVALHO, L. G. Coeficiente de cultura (kc) do cafeeiro (Coffea arabica L.) no período de outono-inverno na região de Lavras – MG. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.2, p.383-391, maio/ago. 2007.

SAVOCA, M.E., SENAY, G.B., MAUPIN, M.A., KENNY, J.F., PERRY, C.A., 2013, Actual evapotranspiration modeling using the operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) approach: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013-5126, 16 p., http://pubs.usgs.gov/sir/2013/5126.

SENAY, G.B., S. BOHMS, R. SINGH, P.A. GOWDA, N.M. VELPURI, H. ALEMU and J.P. VERDIN, 2013. Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach. Journal of American Water Resources Research. In Press.

SEDIYAMA, G.C., MELO JUNIOR, J.C.F. de, SANTOS A.R. dos et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (Coffea arabica L.) para o estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, p.501-509, 2001. Número Especial – Zoneamento Agrícola.

SILVA, A., LIMA, L. A., EVANGELISTA, A. W. P., MARTINS, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.12, p.1215–1221, 2011.

SINGH, R.K., SENAY, G.B. Comparison of four different energy balance models for estimating evapotranspiration in the Midwestern United States. Water, 8 (2015), p. 1-19.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P. & MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. R. Árvore, 30:399-410, 2006.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; GRATTAPAGLIA, D.; CAMPOE, O.; ALVARES, C.; GOMES, F.; MATTOS, E.; OTTO, M.; HAKAMADA, R.; MORAES, M. T. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. Anais...Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-98.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, R.A.; LOOS, R.A. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management, Amsterdan, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol

freático e do rejeito do dessalinizador. Holos, v. 3, p. 181-195, 2013.

VILLA NOVA, N. A., FAVARINI, J. L., ANGELOCCI, L.R., DOURADO-NETO, D. Bragantia, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, Abr. 2002.

WOLLMANN, Cássio Arthur; GALVANI, Emerson. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. Soc. nat., Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 179-190, abr. 2013.

CAPÍTULO 3

CAFÉ

ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. Programa de qualidade do café: qualidade do café. Disponível em: <http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=68>. Acesso em: 29 de janeiro de 2017.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel> : Acesso em: 29 de janeiro de 2017.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Observatório agrícola: acompanhamento da safra brasileira de café. Brasília, 2017, v. 4, p. 1 -98. Disponível em: <www.conab,fov.br>. Acesso em : 29 de janeiro de 2017.

EBC - EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO. Disponível em: <http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2009/01/08/materia.2009-01-08.6135720985/view> Acesso em 28 de janeiro de 2017.

GIOMO, G. S. Informações eletrônicas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2006.

IBGE - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> Acesso em 15 de janeiro de 2017.

MIDC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/

OIT – Organização Internacional do Trabalho. Disponível em: http://www.ilo.org/brasilia/lang--pt/index.htm

ORSINI, R. R. Estudo do aproveitamento do resíduo da lavoura cafeeira como fonte de biomassa na produção de hidrogênio. 2012. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SECEX - Secretaria de Comércio Exterior. Disponível em: <http://portal.siscomex.gov.br/legislacao/orgaos/secretaria-de-comercio-exterior-secex>

TURATTI, J.M. Extração e caracterização de óleo de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. Resumos expandidos... Brasília: EMBRAPA Café, p. 1533-1539, 2001.

VALE, A.T. Casca do café também é fonte de energia. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=casca-cafe-fonte-energia-biomassa#.WI8HhlMrLuo>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.

VIDAL, H.M. Composição lipídica e a qualidade do café (Coffea arábica L.) durante armazenamento. Viçosa, MG, 2001. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa.

CANA

AGRIC (2017). Produção de cana-de-açúcar. Retirado do site: http://www.agric.com.br/producoes/cultivo_da_cana.html, acesso em 24/04/2017.

Alcarde, A.R. (2017). Cana-de-açúcar. Retirado do site: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html, acesso em 26/04/2017.

BRASSOLATTI, T. F. Z. et al. Etanol de primeira e segunda geração. Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação, 2016.

CENBIO (2012). Atlas de Bioenergia do Brasil, Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas. IEE USP. São Paulo/SP. 9p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar. V. 2 – Safra 2015/16, n. 1 - Primeiro Levantamento, Brasília, abr.

Crispim, J. E. & Vieira, S. A. (2017) Cana-de-açúcar: boa alternativa agrícola e energética para a agricultura nacional. Retirado do site: http:planetaorganico.com/trabcana1.htm. Acesso em 24/04/2017.

Genovese, A. L.; Udaeta, M. E. M.; Galvão, L. C. R. (2006). Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. An. 6. Encontro de Energia do Meio Rural.

Granato, E. F. & Silva, C. L. (2002). Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça. In Procedings of the 4th Encontro de

Energia no Meio Rural, 2002, Campinas (SP) [online]. 2002 [cited 24 April 2017]. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200006&lng=en&nrm=iso>.

IBGE - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2015). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> Acesso em 23 de abril de 2017.

Innocente, A. F. (2011). Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar – estudo de caso. Dissertação. UNESP, Botucatu/SP.

Lamo, P. de. (1991). Sistema produtor de gás metano através de tratamento de efluentes industriais - METHAX/BIOPAQ – CODISTIL. Piracicaba.

Marin, F. R. (2017). Cana-de-açúcar. Retirado do site: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html, acesso em 23/04/2017.

Nogueira, L.A.H. (1986). Biodigestão: a alternativa energética. Editora Nobel. São Paulo/SP.

NovaCana (2013). Aspectos do plantio da cana-de-açúcar. Retirado do site: https://www.novacana.com/cana-de-acucar/aspectos-plantio-cana-de-acucar/, acesso em 23/04/2017.

_ (2017). Cana-de-açúcar. Retirado do site: https://www.novacana.com/cana-de-acucar/, acesso em 23/04/2017.

OCDE-FAO (2015). Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. Retirado do site: http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf,a cesso em 24/04/2017.

Paoliello, J. M. M. (2006). Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. Dissertação. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

Pompermayer, R. S. & Paula Junior, D. R. de. (2003). Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2003 [cited 24 April 2017]. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200055&lng=en&nrm=iso>

Schmidt, C. H. (2008). Estudo da viabilidade econômica para a implantação de um sistema de cogeração de energia em uma usina sucroalcooleira. Projeto de fim de curso. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SIAMIG – Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais (2017). Perfil da produção. Retirado do site: http://www.siamig.com.br/indicadores/perfil-da-producao, acesso em 23/04/17.

Silvius, M.; Vogelaar, J. & Cruz, S. (2016). Geração de biogás da vinhaça com um novo tipo de reator anaeróbio. Retirado do site: https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/geracao-de-biogas-da-vinhaca-com-um-novo-tipo-de-reator-anaerobio/, acesso em 24/04/2017.

UDOP – União dos Produtores de Bioenergia (2017). A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais. Retirado di site: http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993, acesso em 23/04/2017.

Vian, C. E.F. (2017). Cana-de-açúcar: Energia elétrica. Retirado do site: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_131_22122006154842.html, acesso em 24/04/17.

EFLUENTES LÍQUIDOS ANIMAIS

Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. Relatório anual 2016. Disponível em: http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais. Acesso 05 abr. 2017.

Banco do Brasil (BB). Bovinocultura de leite. Desenvolvimento regional sustentável. Série cadernos de propostas para atuação em cadeias produtivas. Volume 1. Brasília. 2010.

Batistella, M., Andrade, R. G., Bolfe, E.L., Victoria, D. C., Silva, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. R. Bras. Zootec., 40, 251-260, 2011.

Bradesco. Carne Bovina. DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. 2017. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_carne_bovina.pdf. Acesso 04 Abr. 2017.

Canal Rural. (2016). Pecuária de corte movimenta o dobro do PIB da cadeia de soja. 2016. Disponível em: http://www.canalrural.com.br/noticias/boi-gordo/pecuaria-corte-movimenta-dobro-pib-cadeia-soja-62900. Acesso 07 Abr. 2017.

Castanho, D.S., Arruda, H.J. Biodigestores. In: VI Semana de Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná. Anais, v. 2 (21). ISSN: 1981-366X. 2008.

Chernicharo, C.A.L. Reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 380p. 2007.

Deganutti, R., Palhaci, M.C.J.P., Rossi, M., Tavares, R., Santos, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Enc. Energ. Meio Rural, An. 4, 2002.

DIESEL, R. Coletânea De Tecnologias Sobre Dejetos Suínos; Boletim Informativo de Pesquisa; Embrapa Suínos e Aves e Extensão; EMATER/RS. BIPERS nº 14 - ANO 10 - Agosto/2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA suínos e aves. Mapas e infográficos. 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355242/9156138/Produ%C3%A7%C3%A3o+e+exporta%C3%A7%C3%A3o+do+Brasil.jpg/271ffcc0-e6fd-45eb-9154-51a30a2aea6c?t=1472841522032. Acesso 06 Abr. 2017

Haddad, C. M. Noções sobre confinamento de bovinos de corte. In: Curso de atualização em Confinamentos de bovinos de corte, FEALQ, Piracicaba. 1995.

IBGE - Pesquisa Trimestral do Abate de Animais – (2017); Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/brasil. Acesso 07 Abr. 2017.

IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) - 2015; Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2015 - Acesso 07 Abr. 2017.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf. Acesso 06 Abr. 2017.

Bley Júnior, B.C., Libânio, J.C., Galinkin, M., Oliveira, M. M. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2ª ed. rev. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009.

Junqueira, J.B. Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com Panicum maximum Jacq., cv Tanzânia. Jaboticabal,.xi, 92f.: il. 2011.

Konzen, L A. Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejadas em forma líquida. 1980. 56 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Medicina Veterinária, Belo Horizonte, 1980.

Li Y., Park, S.Y., Zhu, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, pp 821 – 826. 2011.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Agrícola e Pecuário 2014/2015. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/plano-agricola-pecuario/plano-agricola-e-pecuario-2014-2015.pdf/view. Acesso 06 Abr. 2017.

Oliveira, P.A.V. Manual de manejo e utilização de dejetos suínos. Concórdis: EMBRAPA, CNPSA, 188p. (EMBRAPA, CNPSA. Documentos, 27). 1993.

Padilha, A.C.M., Leavy, S., Sampaio, A., Jerônimo, F.B. Gestão ambiental de resíduos da produção na Perdigão Agroindustrial S/A - Unidade Industrial de Serafina Corrêa – RS. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43, Ribeirão Preto, 2005.

PROCREARE. Bovinocultura Brasileira. Disponível em http://procreare.com.br/bovinocultura/. Acesso: 05/04/2017. 2017.

Resende, L.B., Bitencourt, M.B. Rastreabilidade e tecnologia da informação – impactos econômicos sobre a cadeia produtiva da carne bovina brasileira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 43., 2005, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: SOBER, 17p. 2005.

Schneider, V.E., Peresin, D., Trentin, A.C., Bortolin, T.A., Sambuichi, R.H.R. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Relatório de Pesquisa. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2012.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Associação Brasileira dos Criadores de Suínos / Mapeamento da suinocultura brasileira = Mapping of Brazilian Pork Chain - Brasília, DF, 376 p. 2016.

SILVA, F.C.M. Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada. Florianópolis: UFSC, 115p. Dissertação Mestrado. 1996.

USDA | Foreign Agricultural Service 2016. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home - Acesso 05 Abr. 2017.

Vieira, A. A., Costa, P. M. A., Lopes, D. C. Substituição do milho por dejetos de bovinos, em rações para suínos, recebendo caldo de cana-de-açúcar. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, v.20, n.1, p.01-13. 1991.

WilKinson, S. R. and Lowery, R. W. Cycling of mineral nutrients in pasture ecosystems. In: Buttler, G. W. and Balley, R. W. (eds.).

Chemistry and Biochemistry of herbage, Vol. 2. New York: Academic Press, p. 247-315. 1973.

Zoccal, R. Alguns números do leite. Revista Balde Branco. 2016. Disponível em: http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/. Acesso em 07 Abr. 2017.

MAMONA

AMORIM NETO, M. S.; ARAÚJO, A.E.; BELTRÃO, N.E. M. (2001) Clima e solo. In: O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 37- 61.

AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. (1997) Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (Ricinus communis L.) no Brasil. Campina Grande: CNPA. 52p.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A.M.; NETO, S. C. (2010) A Revolução Verde da Mamona. Química Nova na Escola, Vol. 32, N° 1.

CAVALCANTE, F.S. (2004) A Importância da Mamona para a Agricultura Familiar no Estado da Paraíba. Revista Eletrônica de Ciências, Número 27, Junho/Julho/Agosto de 2004.

CENBIO (2012), Atlas de Bioenergia do Brasil, Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas, IEE USP, São Paulo. 9p.

CONAB (2016) Acompanhamento da safra brasileira Grãos. V.3 – Safra2015/16 – N. 6 – Sexto Levantamento. ISSN 2318-6852.

DIAS, Diego Fiório; MÁSALA, Renata Mendes. Estudo Locacional para Unidades Produtoras de Biodiesel no Norte do Estado de Minas Gerais. 2006, 21 f.. Trabalho de Graduação (Curso de Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Viçosa.

DRUMMOND, A. R. F.; GAZINEU, M. H. P.; DOBBIN, M. H.; ALMEIDA, L. M.; MAIOR, A. M. S. (2006) Produção e valor energético da torta de mamona do agreste pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2. Aracaju, SE. Cenário Atual e Perspectivas: anais... Campina Grande: Embrapa Algodão. não paginado.

EMBRAPA (2006a) Algodão – o biodiesel do óleo da mamona e a produção de fitomassa: considerações gerais e singularidades. Campina Grande – PB.

EMBRAPA (2016b). Retirado do site: http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/plantio.html, acesso em 8/04/2016.

EMBRAPA (2016c). Retirado do site: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/SistemaProducaoMamona/co_produtos.htm, acesso em 8/04/2016.

FAO STATISTICS. FAO – Food Agriculture Organization of the United Nations. Production and trade – Castor beans. Disponível em http://faostat.fao.org, acessado em 29/01/2015.

FARIA FILHO, D.E.; DIAS, A.N.; Bueno, CFD; MATOS JÚNIOR, J.B; Couto, F.A.P. (2010) Subprodutos da mamona na alimentação de aves. Produção Animal - Avicultura, p. 24 - 26, 01.

HOFFMAN, L.V. (2007) Ricina: Um Impasse para Utillização da Torta de Mamona e suas Aplicações. Embrapa Algodão, Documentos, 174, p.25, Campina Grande.
INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC) – Retirado do site: http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/mamona.php, acessado em: 18/01/2017.

KNOTHE, G.; Gerpen, J.V.; Krahl, J.; Ramos, L.P. (2006). Manual do biodiesel. São Paulo: Editora Blucher.

MANDAIL, J.C. M.; BELARMINO, L. C.; NEUTZLING, D. M. (2006) Aspectos econômicos da mamona (Ricinus communis L.) e estudo da rentabilidade no Rio Grande do Sul. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 32. Pelotas-RS.

SEVERINO, L. S. et al. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006.

SIDRA (2015) Banco de dados agregados. Retirado do site: http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=291&z=p&o=30, acessado em 15/01/2017.

SILVA, W.J. (1981) Aptidões climáticas para as culturas do girassol, mamona e amendoim. Informe Agropecuário, v. 7 n. 82, p. 24-33.

SILVA, S. D. dos A. et al. (2007) A cultura da mamona no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 115p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 11).

VIEIRA, R. de M.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. Diagnóstico e perspectivas da mamoneira no Brasil. In: REUNIÃO TEMÁTICA DE MATÉRIAS-PRIMA OLEAGINOSAS NO BRASIL: diagnóstico, perspectivas e prioridades de pesquisa, 1997, Campina Grande. Anais... Campina Grande: EMBRAPA- CNPA/MAA/ABIOVE, 1997. p. 139-150. (EMBRAPA-CNPA. Documentos, 63).

MACAÚBA

ARISTONE, F.; OLIVEIRA, T. C. M. (2004) Exploração autosustentável da bocaiúva na região do Pantanal Sul-Matogrossense: geração de renda e equilíbrio do meio ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AZEVEDO FILHO, J.A.; COLOMBO, C.A.; BERTON, L.H.C. (2012) Macauba: palmeira nativa como opção bioenergética. Pesquisa e& Tecnologia, v9(2).

BERTON, L.H.C. (2013) Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (Acrocomia aculeata). Campinas, 154 fls.

BHERING, L. (2009) Macaúba: matéria prima nativa com potencial para produção de biodiesel. Embrapa, p. 1-4.
BONDAR, G. (1964) Palmeiras do Brasil. São Paulo: Instituto de Botânica, São Paulo, n:2, p. 50-554.

BRASIL. (1985) Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. Brasília, STI/CIT. 364 p.

CALLADO, A. A. C. & CALLADO, A. L. C. (2006). Gestão de custos no agronegócio. In: CALLADO, A. A. C. (Ed.). Agronegócio. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2006. p. 55-73.

CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C. H. B.; TAPETI, C. F.; MIYAHIRA, M. A. M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A. V.; COLNAGO, L. A.; NAKA, M. H. (2013) Biometry and oil contents of Acrocomia aculeata fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. Industrial Crops and Products, Amsterdam, v. 45, p. 208-214.

COLLARES, D. (2010) Macaúba - matéria-prima para o biodiesel. Retirado do site: http://hotsites.sct.embrapa.br/prosarural/programacao/2010/macauba-materia-prima-para-o-biodiesel, acessado em 16/12/2014.

FEAM (2016) – Fundação Estadual do Meio Ambiente – Retirado do site: http://www.feam.br/images/stories/FORUMMINEIRO2014/Apresentacoes/PAINEL1/plataforma%20mineira%20de%20bioquerosene.pdf. Acessado em 14 de abril de 2016.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. (1995) Field Guide to the Palms of the Americas. New Jersey: Princepton University, p.166-167.

LOBATO, B. (2016) Macaúba é matéria-prima promissora para biodiesel. Retirado do site: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2329636/macauba-e-materia-prima-promissora-para-biodiesel, acessado em 20/03/16.

MACHADO, C. A. C.; ARGANDONA, E. J. S.; HOMEM, G. R.; TOMMASELLI, M. A. G. (2010) Modelo de viabilização da produção do consórcio: macaúba (Acrocomia aculeata) e cana-de-açúcar (Saccharum officinarum). In: Encontro nacional de engenharia de produção, 30. São Carlos. Resumos... São Carlos: ENEGEP, p.1-11.

MORCOTE-RIOS, G. & BERNAL, R. (2001) Remains of palms (Palmae) at archaeological sites in the New Word: a review. The Botanical Review, New York, v.67, n.3, p.309-350.

MOTOIKE, S. Y., Carvalho, M., Lopes, F. A. de, & Couto, F. A. A. (2011) Produção de mudas de macaúba. Boletim Técnico (Acrotech).

MOTTA, P. E., CURI, N., OLIVEIRA-FILHO, A. T., GOMES, J. B. V. (2002) Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 023-1031.

NOBRE, D. A. C.; Trogello, E.; BORGHETTI, R.A.; DAVID, A.M.S.S. (2014) MACAÚBA (Acrocomia aculeata): palmeira de extração sustentável para biocombustível. Colloquium Agrariae (UNOESTE), v. 10, p. 92-105.

NOVAES, R. F. (1952) Contribuição para o estudo do coco macaúba. Piracicaba, 1952, 85f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NUCCI, S. M. (2007) Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba. 84 f. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) - Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo.

PEREIRA, B. A. S. (1996) Flora nativa. In: DIAS, B. F. S. (Coord.). Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília, DF: Fundação Pró-Natureza, p. 53-57.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. (1995) Flowering and fruiting phenologies of the palm Acrocomia aculeata: patterns and consequences. Biotropica, Washington, DC, v. 27, n. 2, p. 168-173.

SILVA, J. C. (1994) Macaúba: fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial. Viçosa, 41f. Trabalho de conclusão da disciplina Cultivo de essências exóticas e nativas. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, J.C. (2007) MACAÚBA - Fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial – Viçosa – MG, 63p.

MICROALGAS

BENEMANN, J. R. Microalgae Biofuels: A Brief Introduction, © John Benemann, January 1. 2009. Disponível em https://www.adelaide.edu.au/biogas/renewable/biofuels_introduction. pdf. Acessado em 03/03/2016.

BRENNAN, L., OWENDE, P. Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, pp 557 – 577. 2010.

CHEN, G., ZHAO L., QI, Y. Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: A critical review. Applied Energy. 137. 282-291. 2015.

CHISTI, Y. Constraints to commercialization of algal fuels. Journal of Biotechnology. 167, 201-214. 2013.

CHISTI, Y., YAN, J. Algal biofuels—a status report. Applied Energy 88. 3277–3279. 2011.

CROMAR, N.J., FALLOWFIELD, H.J. Effect of nutrient loading and retention time on performance of high rate algal ponds. Journal of Applied Phycology, 9, pp. 301-309. 1997.

FLÖRKE, M., KYNAST, E., BÄRLUND, I., EISNER, S., WIMMERA, F., ALCAMO, J. Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: global simulation study. Glob Environ Change.23 (1). 144–156. 2013.

HEFFER, P. Assessment of Fertilizer Use by Crop at the Global Level 2010-2010/11. International Fertilizer Industry Association (IFA). 2013. Disponível em http://www.fertilizer.org/En/Statistics/FUBC_Database.aspx?WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc--8152ed74f306. Acessado em 20/03/2016.

Hirano A, Hon-Nami K, Kunito S, Hada M, Ogushi Y. Temperature effect on continuous gasification of microalgal biomass: theoretical yield of methanol production and its energy balance. Catal Today 1998;45(1-4):399-404.

IEA, International Energy Agency. Oil market report. 2015. Disponível em https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic. Acessado em 21/03/2016.

MEHRABADI, A., CRAGGS, R., FARID, M. M. Wastewater treatment high rate algal ponds (WWT HRAP) for low-cost biofuel production. Bioresource Technology, 184, pp. 202-214. 2015.

OSWALD, W. J. Large-scale algal culture systems (engineering aspects). In: Borowitzka, M. A., Borowitzka, L. J. (Org.). Micro-algal biotechnology. Cambridge: Cambridge University Press, 357-394. 1988.

SAVAGE, P. E., HESTEKIN, J. A. A Perspective on Algae, the Environment, and Energy. Environmental Progress and Sustainable Energy, 32(4), 877-883. 2013.

SHEEHAN, J. A look back at the US Department of Energy's aquatic species program – Biodiesel from algae. TP-580-24910. 1998.

TREDICI, M.R. Mass production of microalgae: photobioreactors. In: Richmond, A. (ed.) Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, pp. 178-214. Blackwell Science, Iowa. 2007.

VASUMATHI, K. K., PREMALATHA, M., SUBRAMANIAN, P. Parameters influencing the design of photobioreactor for the growth of microalgae. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16. 5443 – 5450. 2012.

Vigani, M., Parisi, C., Cerezo, E.R., Barbosa, M.J., Sijtsma, L., Ploeg, M., Enzing, C. Food and feed products from microalgae: Market opportunities and challenges for the EU. Trends in Food Science & Technology, 42. 81 – 92. 2015.

YANG, J., XU, M., ZHANG, X., HU, Q., SOMMERFELD, M., CHEN, Y. Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: water footprint and nutrients balance. Bioresour Technol. 102. 159–65. 2011.

MILHO

Bertrand, C.; Ypersele, J. V.; Berger, A. (1991). Are Natural Climate Forcings Able to Counteract the Projected Anthropogenic Global Warming? Climatic Change, v. 55, n. 4, p.413-427, 2002. Disponível em: http://stephenschneider.stanford.edu/Publications/PDF_Papers/BertrandEtAlfulltext.pdf. Acesso em: 14 fev. 2016.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura do milho. Compêndio de Estudos Conab, v.1. Brasília: Conab. 2016. ISSN: 2448-3710

EPE -Empresa de Pesquisas Energéticas. Inventário Energético de Resíduos Rurais (Nota Técnica DEA 15/14). Rio de Janeiro. 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/339/default .aspx>, Acesso em fevereiro 2016.

IBGE - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA 2016 Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> Acesso em 15 de janeiro de 2017.

Koopmans, A., Koppejan, J. Agricultural and Forest Residues – Generation, Utilization and Availability. In: Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy, pp. 6-10, Kuala Lumpur, Malaysia. 1997.

Nogueira, L. A. H., Lora, E. E. Wood Energy: Principles and Applications. Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica Distribuída – NEST, do Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

PAM – Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais. Potencial de Energias Renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. Belo Horizonte. 2014.

Rocha, M. S. R. S., Almeida, R. M. R. G., Cruz, A. J. G. Avaliação do potencial energético de resíduos agroindustriais provenientes de diferentes regiões brasileiras. Engevista, 19(1), pp 217-235. 2017.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2010. Embrapa Milho e Sorgo - Cultivo do Milho. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm Acessado em: 22/02/2017.

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. 2017. A Cultura do Milho. Disponível em: http://www.emater.mg.gov.br/doc%5Csite%5Cserevicoseprodutos%5Clivraria%5CCulturas%5CCultura%20do%20Milho.pdf> Acessado em: 23/02/2017.

PINHÃO MANSO

ACKOM, E. K., ERTEL, J. (2005) An alternative energy approach to combating desertification and promotion of sustainable development in drought regions. In: FORUM DER FORSCHUNG, 18, 2 Eigenverlag. Anais... Eigenverlag: BTU Cottbus, p. 74-78.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W. E. e SEVERINO, L. S. (2004) Cultivo de pinhão manso para o Semi Árido nordestino. Revista Brasileira de Óleos e Fibras. Campina Grande, v.8, n.1, p.789- 799.

BARBIERI, L.; BATTELLI, M. G.; STIRPE, F. (1993) Ribosome nactivating proteins from plants. Biochimica biophysica Acta, Amsterdam, v. 1154, n. 3/4, p. 237-282.

BASHA, S.D.; FRANCIS, G.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K.; SUJATHA, M. (2009) A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between Jatropha curcas L. germplasm from different countries. Plant Science, v.176, p.812-823.

BRASIL. (1985) Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Brasília: STI/CIT. 364p. (Documentos, 16).

BRASILEIRO, B. P. (2010) Conservação e melhoramento genético do pinhão-manso (Jatropha curcas L.). Cruz das Almas-BA, 2010. 83f.; il.

CARNIELLI, F. (2003) O combustível do futuro. Retirado do site: www.ufmg.br/boletim/bul1413, acesso em 20/03/2016.

CASTELLANOS, Juan. Biodiesel do óleo de Pinhão-manso, Jornal Periódico Hoy 2006. - Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2006/biodiesel-oleo-pinhao-manso/>

CORTESÃO, M. (1956) Culturas tropicais: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica. 231p.

Do ROSÁRIO, C. 2006. Jatropha Curcas Proposta para a Sustentabilidade do Cultivo em Moçambique. Nova Delhi. 31pp.

DUKE, J. A. Handbook of energy crops. Retirado do site: http//C:\WINDOWS\TEMP\purdue_university.htm, acesso em 20/03/2016.

FERNANDO, J. (2006) Revisão sobre Jatropha curcas, seus usos e seu potencial para produção de biodiesel em Moçambique. ICRAF/IIAM, TechnoServe.

GÜBITZ, G. M. et al. (1999) Exploitation of the tropical oil seed plant Jatropha curcas L. Bioresource Technology, Fayetteville, n. 67, p. 73-82.

HELLER, J. (1996) Physic nut. Jatropha curcas L.: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1 ed. Roma: IPGRI, 66 p.

HENNING, R. (2000) Use of Jatropha curcas oil raw meterial and fuel: an integrated approach to create income and supply energy for rural development – Experiences of the Jatropha Project in Mali, West Africa. In: INTERNACIONAL FOLKCENTER FOR "RENEWABLE ENERGY – A VEHICLE FOR LOCAL DEVELOPMENT", 2, Denmark. Anais... Denmark: 1-4.

HUANG, D. R.; HUANG, D. H.; GUO, S. X.; PAN, K. Z.; HUANG, Z. Q.; LIN, J. Z. (1991) Purification and partial characterization of toxin from Jatropha curcas. Progress in Biochemical Biophysics, London, v. 18, n. 2, p. 149-151.

LAVIOLA, B. G. (2011) Pinhão-manso: os avanços da pesquisa e o que esperamos para o futuro. In: Reunião no MAPA, Brasília, 26 de maio de 2011. Retirado do site: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Oleaginosas_e_biodiesel/11RO/App_EMBRAPA.pdf, acessado em 20/03/02016.

LAVIOLA, B. G. e DIAS, L.A.S. (2008) Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. .R. Bras. Ci. Solo, 32:1969-1975.

LIN, J.; YAN, F.; TANG, L.; CHEN, F. (2002) Isolation, purification and functional investigation on the N-glycosidase activity of curcin from the seeds of Jatropha curcas. High Technology Letters , Berjing, v. 11, n. 1, p. 36-40.

MARTINS, Carlos Eugênio. Capim-elefante: formas de uso na alimentação animal. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/594284/1/CT57Capimelefanteformasdeuso.pdf. Acesso em: 25/11/2015

NUNES, C.F. (2007) Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão manso ((Jatropha curcas L.). UFLA, Lavras/MG. 78p.

OPENSHAW, K. (2000) A review of Jatropha curcas: an oil plant of unfulfilled promise. Biomass & Bioenergy, v.19, p.1-15, 2000.

PEIXOTO, A.R. (1973) Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel. 284p.

PIGHINELLI, Anna Letícia M. T.; FERRARI, Roseli A.; MACHADO, Maria Cristina N. A.; PARK, Kil J. ESTUDO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DE ÓLEO BRUTO DE PINHÃOMANSO (Jatropha curcas L.), 2011.

PINHÃO MANSO. Revista BiodieselBR, 2011. - Disponível em: <http://www.pinhaomanso.com.br>.

PURCINO, A.A.C; DRUMMOND, O. A. (1986) Pinhão manso. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, 7p. (Documento).

SATO, Michelle et al. A cultura do pinhão-manso (Jatropha curcas L.): uso para fins combustíveis e descrição agronômica. Revista Varia Scientia, v. 7, n. 13, p. 47-62, 2009.

SATURNINO, H. M. et al. (2006) Implantação de unidades de validação de tecnologia pinhão-manso. Projeto de Pesquisa, Centro Tecnológico do Norte de Minas Gerais, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Nova Porteirinha. 5p.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. (2005) Produção de oleaginosas para o biodiesel. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-74.

SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. (2009) Caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo forrageiro e crambe. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335.

SWOT. (2002) Summary of current knowledge: an industry and market study of plant products from five trees in Southern Africa – jatrophor physic nut. Washington. 15 p. Relatório de Projeto, Internacional Programs Washington State University.

TEIXEIRA, L. C. (2005) Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 18-27.

VALE, Ailton Teixeira do et al. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (Jatropha curcas), 2015.

34ZANON, N.B. (2012) Análise econômica e de investimento da cultura do pinhão manso (Jatropha curcas L.). Ilha Solteira. 48f.

RESÍDUOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, p. 7 – 40. 2001.

ANDREOLI, C. V., von SPERLING, M., FERNANDES, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. 3. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 484p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. ABNT, Rio de Janeiro, 1993.

BEN, Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa e altera a Resolução n°357/2005. (2011).

FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELECK, H., MARA, D. D. Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management, Pub. World Bank, John Wiley & Sons, USA, p. 8, 1983.

FONTS, I.; GEA, G.; AZUARA, M.; ÁBREGO, J.; ARAUZO, J. (2012) Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. Re-

newable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 2.781– 2.805, 2012.

FRITZ, A.G.N.C., VIEIRA, G.E.G., SANTOS JUNIOR, R.K. Reaproveitamento e caracterização do lodo de esgoto para produção de energia renovável. Biomassa & Energia, v. 4, n. 2, p. 121-130, 2011.

KHIARI, B., MARIAS, F., ZAGROUBA, F., VAXELAIRE, J. (2004) Analytical study of the pyrolysis process in a wastewater treatment pilot station. Desalination. v. 167, p.39-47.

LUDUVICE, M. (2001) Processos de estabilização de lodos. In: Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final. Rio de Janeiro: ABES. 484p.

LUDUVICE, M., FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Ed.: Cleverson V. Andreolli, von SPERLING, Marcos, Fernando Fernandes. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p. ISBN: 85-88556-01-4

METCALF; EDDY, INC. (2002) Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. New York: Ed. McGraw-Hill, 1334 p.

PEDROZA, M.M., VIEIRA, G.E.G., SOUSA, J. F., PICKER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. (2010) Produção e tratamento de lodo de esgoto - uma revisão. Revista Liberato, Novo Hamburgo, V.11, n. 16, p. 89-XX.

ROSA, A. P., CHERNICHARO, C. A. L., MELO, G. C. B. Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETEs em processos térmicos. Revista DAE. 55-62. 2014. DOI: 10.4322/dae.2014.140.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnósticos de água e esgoto - 2014. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento ambiental. Brasília, 2016. Disponível em www.snis.gov.br. Acessado em 13/04/2016.

SPINOSA L.; AYOL A.; BAUDEZ J. C.; CANZIANI R.; JENICEK P.; LEONARD A.; Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management. Water, 2011. v.3, p.702-717, 2011.

von SPERLING, M., GOLÇALVES, R.F. Lodo de esgotos: características e produção. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Ed.: Cleverson V. Andreolli, von Sperling Marcos, Fernando Fernandes. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p. ISBN: 85-88556-01-4.

von SPERLING, M.. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.452p. ISBN: 85-7041-114-6.

WERLE S.; WILK R.K. A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective. Renewable Energy, doi:10.1016/j.renene.2010.01.019, 2010.

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Resíduos sólidos: manual de boas práticas no planejamento. 2013. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/arquivos/manual_portugues_2013.pdf. Acessado em 20/03/2016.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. Abrelpe, 2014.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2007. Abrelpe, 2008.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008. Abrelpe, 2009.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009. Abrelpe, 2010.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010. Abrelpe, 2011.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011. Abrelpe, 2012.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013. Abrelpe, 2014.

ARCADIS Tetraplan. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. Produto 6 – Resumo Executivo. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimentos – PNUD, Ministério do Meio Ambiente. São Paulo, 2010.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Atlas de Bioenergia do Brasil, Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas. CENBIO, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo – IEE/USP.

São Paulo, 2012.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2014. Belo Horizonte, 2015.

Governo de São Paulo, Secretaria de Energia e Mineração. Resíduos sólidos. Disponível em: http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/residuos-solidos. Acessado em abril, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico e a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD. IBGE, 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual and Workbook. IPCC, 1996.

MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. IBAM, 2001.

NEVES, E.F.; CROCOMO, F.C. A relação entre a pobreza e o crescimento econômico do Brasil: uma análise via a propensão marginal a consumir. 2005. Disponível em: http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/4mostra/pdfs/546.pdf. Acesso em: abril, 2016.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento ambiental. Brasília, 2016. Disponível em www.snis.gov.br. Acessado em 16/01/2017.

SOJA

APROSOJA BRASIL (2014). Uso da soja. Disponível em: http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja/, acesso em 10/09/2016.

CARVALHO, F.C. de. (1992). Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO DE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos. Anais... São Carlos: EMBRAPA. 349 p. P. 7-27.

CEMIG (2012). Alternativas energéticas: uma visão CEMIG. Belo Horizonte: Cemig. 357: ilust. ISBN: 978-85-87-929-51-8.

CISOJA (2016). Histórico. Disponível em http://www.cisoja.com.br/index.php?p=historico. Acesso em 05/04/2016.

CONAB (2016) Séries históricas. Retirado do site: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2, acesso em 20/03/2016.

DALL'AGNOL, A. (2007). Por que fazemos biodiesel de soja. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm. Acesso em 20/03/2016.

EMBRAPA (2015). Produção de soja. Disponível em: http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm. Acessado em 07/04/2016.

FEAM (2014) Plano de Energia e Mudanças Climáticas. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/EnergiaMudancasClimaticas/Publicacoes2014/pemc_potencial_er_vol_ii_v1.0_15_04_2014.pdf. Acesso em 07/04/2016.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J.; ÁVILA, M. T. (2010) Avaliação da relação entre soja e produção de biodiesel. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Tecnologias, desenvolvimento e integração social: anais. Campo Grande-MS: SOBER, 2010.

KOOPMANS, A., KOPPEJAN, J. (1997). Agricultural and Forest Residues - Generation, Utilization and Availability. In: Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy, pp. 6-10, Kuala Lumpur, Malaysia, Jan.

MAPA (2016). Soja. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja. Acesso em 10/04/2016.

Ministério da Agricultura (2016). Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/11/soja-deve-representar-quase-metade-da-safra-brasileira-de-graos-20152016. Acesso em 07/04/2016.

MARTIN, L.C.T. (1987). Confinamento de bovinos de corte. Modernas técnicas. 2 ed. São Paulo: Livraria Nobel, 124p.

NOGUEIRA, L. A. H., LORA, E. E. (2002) Wood Energy: Principles and Applications. Núcleo de Excelência em Geração Termoelétrica Distribuída – NEST, do Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

NUCCI, E.P.D. Substituição parcial de silagem de milho por palha de trevo vesiculoso (Trifolium vesiculosum Savi cv. "Iuchi") no desempenho de novilhos da raça Charolês em confinamento. Santa Maria, RS, 1994. 61 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, 1994.

RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; FLORES, J.L.C. Palha de soja (Glycine max) como substituto parcial da silage de

sorgo forrageiro (Sorghum bicolor (L.) Moench) na alimentação de terneiros de corte confinados. Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 319-324, 2000. ISSN 0103-8478

SIDRA (2016). Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> Acesso em 03 de março de 2017.

VEGETAIS LENHOSOS

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2015. Anuário estatístico 2015: ano base 2014. Belo Horizonte, MG. 41p.

ARANTES, M.D.C. Variação nas características da madeira e do carvão vegetal de um híbrido de Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake. Lavras, UFLA, p.155, 2009. (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

ANDRADE, A. M.; PASSOS, P. R.; MARQUES, L. G. C.; OLIVEIRA, L. B.;VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. D. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (Cocosnucifera Limn) e análise do carvão vegetal. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 28,n. 5, p. 707-714, set./out. 2004.

ARRUDA, T. P. M. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. 2005. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2005.

ASSIS, C. O. Sistema alternativo para carbonização da madeira. 2007. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, 2012. 145p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2012. Anuário estatístico 2012: ano base 2011. Belo Horizonte, 2012. 12p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2009. Florestas energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade. Belo Horizonte, 2009. 23p.

ANDRITZ – Feed&Biofuel. Mercado e Produção de combustíveis "verdes" a partir de biomassa. In: CONGRESSO INTERNACIONAL E BIOENERGIA, 6., Curitiba – PR. 2012.

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Setor. Disponível em: http://www.abimci.com.br. Acesso em: 15 maio de 2012.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2011. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2010. Brasília, 2011. 130p.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, 2012. 145p.

BERGMAN, P.; KIEL, J. Torrefaction for biomass upgrading. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE, 14., Anais... Paris: ETA Renewable Energies, (Florence, Italy) and WIP Renewable Energies (Munich, Germany), 2005. p. 1-8.

BAER FILHO, R. Aspectos econômicos, ambientais e técnicos de três tecnologias para produção de carvão vegetal. 2008. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

BRITO, J. O. Desafios e perspectivas da produção e comercialização do carvão vegetal. 2010. II Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal. Sete Lagoas – MG. 2010.

BYRNE, C. E.; NAGLE, D. C. Carbonization of wood for advanced materials applications.1997.Carbon, Elmsford, v. 35, n. 2, p. 259-266, 1997.

BERGMAN, P. C. A.; BOERSMA, A. R.; KIEL, J. H. A.; PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass ECN Biomass, v. 05, n. 067, p. 50, 2005.

BRIANE, D. DOAT, J. Guide technique de la carbonisation. EDISUD, Aixen-Provence. 1985.

BEN. Balanço Energético Naciona. 2016. Ano base, 2015. Relatório Síntese. Rio de Janeiro. RJ. 62p.

BEEMG. 29º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais. 2014, ano base 2013. CEMIG. Belo Horizonte-MG. 184p.

BRAND, M.A., Energia da biomassa florestal. Rio de Janeiro, Interciência, 131 p. 2010.

BRITO. J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2, 1982, São Paulo. Anais ... São Paulo, Governo do Estado, p.101-137, 1982.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. Estudos Avançados, 21 (59), IEA, Universidade de São Paulo, 2007.
BROWNING, B.L. The chemistry of wood. New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.

BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J (1999) Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos, EESC/USP – Projeto REENGE, 120 p.

BRASIL. Lei nº12.305, Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 18/7/2016.

BP Statistical Review of World Energy. BP Statistical Review of World Energy 2016. BP p.l.c.. Londres, p.48. 2016.

BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F. de. Relação solo eucalipto. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990.

CARDOSO, M. OLIVEIRA, E.D. PASSOS, M.L. Licor Negro de eucalipto kraft provenientes de industriais brasileiras: Características físicas, químicas e seu processamento na unidade de recuperação. Artigo Técnico. Revista: O Papel, 2006.

CAIRES, R.R. Briquetagem de Resíduos – Biomassa. Unicamp, Campinas-SP. 2010. 8p.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. Manual de arborização. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p. : ilust.

CENBIO, 3º Relatório parcial do projeto Fortalecimento Institucional do Centro nacional de Referência em Biomassa, 2007.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). Levantamento do potencial real de excedentes de cogeração no setor sucro alcooleiro: relatório técnico. Brasília: ANEEL, 2002.

COUTO, L.; MULLER, M.D.; SILVA JR., A.G.; CONDE, L.J.N. Produção de pellets de madeira – o caso da Bio-Energy no Espírito Santo. RENABIO. Biomassa&Energia, v.1, p. 45-52, 2004.

CARDOSO, M. T. Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira. 2010. 89 p.Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2010.

CGEE. Modernização da produção de carvão vegetal. Subsídio para revisão do Plano Nacional da Siderurgia. Brasília-DF. 2014. 154p.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. 2016. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE_380438&_afrLoop=607639558550213#%40%3Fcontentid%3DCCEE_380438%26_afrLoop%3D607639558550213%26_adf.ctrl-state%3Dph86um1rk_134. Acesso: 20 de sembro de 2016.

CORTEZ, C. L.; COELHO S. T.; GRISOLI, R.; GRAVIOLI F. Compostagem de resíduos de poda urbana. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_ix.pdf. Acesso: 15 de maio 2011.

CASTRO, A.F.N.M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

DIAS, L. M. S. Síntese e caracterização de adesivos de lignina Kraft de eucalipto. Dissertação (Mestrado), UFLA, Lavras, 2014.

EUROPEAN COMISSION. EU 2030 Climate and Energy Framework. Brussels, 2014.

Entalpia de ligação. http://www.soq.com.br/conteudos/em/termoquimica/p4.php. Acesso em 10/08/2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2016. Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2015. Rio de Janeiro, 2016. 266p.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional - Relatório Síntese - Ano Base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p.62. 2016.

FOELKEL, C.E.B. Individualização das fibras da Madeira de eucalipto para produçãode celulose Kraft. 2009.

FOELKEL, C.E.B. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 02. Fatores de Sucesso para seu gerenciamento. Eucalyptus Online Book & Newsletter. São Paulo, ABTCP, 2008.

FOELKEL. C. E. B. Florestas Plantadas: Avanços Eucalipto no Brasil. Revista Visão Agrícola, 2005. 63-69p.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. In.: Potencial de Energias Renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. 2014. Belo Horizonte-MG. 120p.

FÁVERO, G. C.; VALLE, R. M.; DUARTE, T. M. Análise Térmica de um Sistema de Combustão de Alcatrão em Fornos Retangulares para a Secagem da Madeira. In: 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica,2007, Peru. Anais... Peru, 2007.

GOMES, F. A. Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids para Madeira de Pinus taeda. Dissertação (Mestrado), ESALQ, Piracicaba, 2009.

GOUVEIA, A.F.G. Produção de briquete a partir da adição da lignina Kraft com resíduos da indústria moveleira. Tese (Ciência

Florestal). Viçosa, MG, 2012.

GENTIL, L.V.B. Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. Brasília, 2008. 195 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal). Publicação EFL TD – 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília.

HANSEN, M.T.; JEIN, A.R.; HAYES, S.; BATEMAN, P. English Handbook for Wood Pellet Combustion. Force Technology. 86p. Disponível em: http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=090313124119&type=doc&pdf=trueAcesso em: 20 Junho 2012, 2009.

IBÁ. Industria Brasileira de Árvores. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. São Paulo-SP. 100f.

IBÁ. INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. Brasília, 2016. 100p.

IBGE. Instituo Brasileiro de Geografia e Estatísticas. 2014. Extração Vegetal e Silvicultura. Rio de Janeiro, RJ. 54p.

IONASHIRO, M.G. Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. Araraquara: Giz editorial, 2004. 96p.

IEA (International Energy Agency), World Energy Outlook 2015. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2015/>. Acesso em: 25 maio. 2016.

IEA Bioenergy. 2011. Global wood pellet industry market and trade study - Task 40 "Sustainable Bioenergy Trade". Disponível em: http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study_final.pdf Acesso em: 14 Junho 2012.

JUVILLAR, J. B. Tecnologia de Transformação da Madeira em Carvão.1982. Belo Horizonte:Fundo Centro Tecnológico de Minas Gerais -CETEC, 1982. p.67-82.

KARAMAZOVI. Processo de briquetagem. Disponível em:<http://www.karamazovi.com.br/briquetes.html#briquetagem>.Acesso em 15 de jan. 2014.

KLEINSCHMIDT, C. P. Overview of international developments in torrefaction. Austria, p.9. 2011.

KARKANIA, V.; FANARA, E.; ZABANIOTOU, A. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, p. 1426-1436, 2012.

KOPPEJAN, J. et al. Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32 – Final Report. 54 p.2012.

LUONG, N. D., BINH, N. T. B., DUONG, L. D., KIM, D. O., KIM, D-S., LEE, S. H., KIM, B. J., LEE, Y. S., NAM, J-D. An eco-friendly and efficient route of lignin extraction from black liquor and a lignin-basead copolyester synthesis. Polymeres, South Korea, v. 68, p. 879-890, 2012.

LATORRE, F. L.; HENRIQUES, E. P. Melhoramento genético do eucaliptovisando a produção de carvão vegetal para siderurgia. In: Fórum Nacional de Carvão Vegetal, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte:Painel Floresta, 2008.

LI, H.; LIU, X.; LEGROS, R.; BI, X. T.; LIM, C. J.; SOKHANSANJ, S. Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. Bioresource Technology, v. 103, n. 1, p. 453-458, 2012.

MALAN, F.A. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE E EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. Anais... São Paulo, IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

MALAN, F.A. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of Eucalyptus grandis Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. South African Forestry Journal (157): 16-23, 1991.

MAGALHÃES, E. A. Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa. 2007. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MARRI, A.; OLIVEIRA, J. B.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Manual de construção e operação de fornos de carbonização. 1982. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 55p. 1982.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: Produção e utilização do carvão vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. p. 75-89. 1982.

MIRANDA, M. R. S. Bagaço do sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. Análise Térmica de Materiais. São Paulo. Editora, 2002. 300 p.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. Biomass and Bioenergy, Amsterdam, v.33, n.3, p.415-420, Mar. 2009.

MME - Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2014. Ministério de Minas e Energia, p.32.

2015.

NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction. International Journal of Renewable Energy & Biofuels, v. 2014, p. 56, 2014.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T. BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. Oxford, Biomass & Bioenergy, v.30, n.11, p.973-982, Nov. 2006.

OLIVEIRA, A. C. Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. 2012. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

OLIVEIRA, E.de. Correlação Entre Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden).1988. 47 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1988.

OLIVEIRA, J. B.de.;VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: Produção e utilização de carvão vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. p.60-73. 1982.

OLIVEIRA, R. L. M. Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2009.

OLIVEIRA, C. M. Potencial de Otimização dos Resíduos e o Desenvolvimento de Novos Negócios aos Setores Sucroenergético Florestal e Celulose. Associação Brasileira Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. 2011.

OLIVEIRA, C.M. Wood Pellets Brasil. Associação Brasileira Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. 2011-2012.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. Curso de atualização e carvão vegetal. Centro de Produções técnicas – CPT, 2000.76p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. Desempenho de um forno de carbonização semi contínuo tipo container para produção de carvão vegetal. Revista Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 183-189, 2004.

PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. 2012. 102p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

PAULA, L.E. e R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. 2010. Dissertação (Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 83f. 2010.

PEREIRA, B.L.C. Propriedades de pellets de diferentes biomassas para fins energéticos. Tese (Ciência Florestal). Viçosa-MG. 2014.

PÁDUA, F. A. Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake. Lavras, UFLA, p.99, 2009. (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. Railegh, Bioresources, v. 8, p. 4574-4592, 2013.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, v.31, p. 113-122, 2011.

PELLETSLAR. O que são pellets? Disponívelem:http://www.pelletslar.com/?pID=31&selID=31|42. Acesso em: 21 maio 2012.

PHANPHANICH, M.; MANI, S. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. Bioresource Technology, v. 102, n. 2, p. 1246-1253, 2011.

PENG, J.H. et al. Torrefaction and densification of different species of softwood residues. Fuel, v.111, p.411-421, 2013.

RIBEIRO, G. B. D. O PAPEL DA BIOMASSA FLORESTAL NO SETOR ENERGÉTICO EUROPEU: MOMENTO ATUAL E PERSPECTIVAS. Notas de aula, ENF 668 - Energia da Madeira. Viçosa-MG. 12p. 2016.

RAAD, T. J. Instrumentação e Controle de Processo de Carbonização dos Fornos Industriais da V&M Florestal. Anais...1o Congresso Internacional de uso da biomassa plantada para a produção de metais e geração de eletricidade, Belo Horizonte, Brasil, 8-11 outubro, 2001.

RAAD, T. J. Simulação do processo de secagem e carbonização de Eucalyptus spp. 2004. 114 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004.

REZENDE, J. B; SANTOS, A. C. A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades. 2010. Viçosa, MG: U.R. EPAMIG ZM, 2010. 80p.

REZENDE, M. E. Produção de carvão vegetal – importância do conhecimento fundamental. 2006. Belo Horizonte - MG. 2006.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, R. C. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. 2010, 173 f.Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SÈYE, O. Influencia da temperatura de carbonização nas propriedades docarvão vegetal de Eucalyptus. 1998. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, F. A. Alternativa para redução do consumo de combustível fóssil em fábrica de celulose Kraft de eucalipto. 2010. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

Souza, M. M. Propriedades de briquetes e pellets produzidos com resíduos sólidos urbanos. 2014. Tese (Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 81f. 2014.

Sumário Executivo, Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às políticas públicas na área de Gestão e controle ambiental, Ministério Do Meio Ambiente, Curitiba, 2009.

SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry: fundamentals and applications. 2.ed., New York, Academic Press, 1993. 293p.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. Viçosa, Revista Árvore, v.38, n.3, p.543-549, 2014.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. Cerne, Lavras, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

SANTANA, W.M.S. Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de Eucalyptus grandis x E. urophylla com enfoque energético. Lavras, UFLA, 92 p. 2009. (Ilust.). (Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. Definition and Nomenclature. In: SARKANEN e SUDWIG. Lignins: occurrence, formation, structure and reaction. New York, John Wiley & Sons, 1971. 916p.

SHAFIZADEH, F. Fuels from wood waste. In: ANDERSON, L.L. & TILLMAN, D.A. Fuel from waste. New York, Academic Press, p. 141-159, 1977.

SINDIFER. Sindicato da Industria do Ferro Gusa no Estado de Minas Gerais. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. Belo Horizonte-MG. 23p.

SERRANO, D.M.C. 2009. Avaliação de produção e exportação de pellets combustível no Pólo Florestal da Região Sul do Brasil. UEC. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado) – UEC, Campinas.

SPELTER, H.; TOTH, D. 2009. North America's wood pellet sector. Research Paper FPL-RP-656.Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 21p.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE. Rio de Janeiro, 2016. 452p.

TSI. Disponível em: http://tsi-inc.net/biomasswood/products/torrefaction/. Acesso, agosto, 2016.

TACCINI, M. M. Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2011.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (Himenea courbaril L.). Scientia Agraria, Piracicaba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

UASUF, A.; BECKER, G. Wood pellets production costs and energy consumption under different framework conditions in Northeast Argentina. Biomass and Bioenergy, v.35, n.3, p.1357-1366, 2011.

USLU, A.; FAAIJ, A.P.C.; BERGMAN, P.C.A. 2008. Pre-treatment technologies, and their effect oninternational bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation oftorrefaction, fast pyrolysis and pelletisation. Energy, v.33, n.8, p.1206-23.

VENTAKESH, V.; NGUYEN, X.N. Evaporation and concentration of black liquor. In: HOUGH, G.W. (5) Chemical recovery in the alkaline pulping process. Atlanta: Tappi Press, 1985. 312p.

VAN DER STELT, M. J. C.; GERHAUSER, H.; KIEL, J. H. A.; PTASINSKI, K. J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. Biomass and Bioenergy, v. 35, n. 9, p. 3748-3762, 2011.

.

VERMA, V.; BRAM, S.; DE RUYCFE, J. Small scale biomass heating systems: standards, quality labelling and market driving factors – an EU outlook.2009. Biomassand Bioenergy 33(10):1393-402.

VENCOR. Disponível em: http://www.power-eng.com/marketwired/2015/01/29/vencor-international-introduces-first-torrefaction-machine.html. Acesso, Julho, 2016.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. Genetics of wood production. Berlin, Springer-Verlag, 1995. 337p.

ZHANG, M.; RESENDE, F. L. P.; MOUTSOGLOU, A.; RAYNIE, D. E. Pyrolysis of lignin extracted from prairie cordgrass, aspen, and Kraft lignin by Py-GC/MS and TGA/FTIR. New York, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v.98, p. 65–71, 2012.

WALLBERG, O., LINDE, M., JONSON, A. Extraction of lignin and hemicelluloses from black liquor. Desalination, p. 413-414, 2006.

WIECHETECK, M. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos.

WILÉN, C. et al. Wood torrefaction – market prospects and integration with the forest and energy industry. VTT Technology163, 55 p, 2014.

WILD, M. el al. Possible effects of torrefaction on biomass trade. IEA Bioenergy: Task 40, 68 p, 2016.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H. ; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel, v. 86, p. 1781-1788, 2007.

NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

CAPÍTULO 4

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2017.

BEN, Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. 2008.

BRAND, M.A., Energia da biomassa florestal. Rio de Janeiro, Interciência, 131 p. 2010.

BRIANE, D. DOAT, J. Guide technique de la carbonisation. EDISUD, Aixen-Provence. 1985.

BRITO. J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2, 1982, São Paulo. Anais ... São Paulo, Governo do Estado, p.101-137, 1982.

CARVALHO, F.C. de. (1992). Disponibilidade de resíduos agroindustriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO DE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 1992, São Carlos. Anais... São Carlos: EMBRAPA. 349 p. P. 7-27.

CENBIO (2012), Atlas de Bioenergia do Brasil, Metodologias de cálculo da conversão energética das biomassas selecionadas, IEE USP, São Paulo. 9p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Observatório agrícola: acompanhamento da safra brasileira de café. Brasília, 2017, v. 4, p. 1 -98. Disponível em: <www.conab,fov.br>. Acesso em : 29 de janeiro de 2017.

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, 2017

FONTS, I.; GEA, G.; AZUARA, M.; ÁBREGO, J.; ARAUZO, J. (2012) Sewage sludge pyrolysis for liquid production: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, p. 2.781– 2.805, 2012.

EPE -Empresa de Pesquisas Energéticas. Inventário Energético de Resíduos Rurais (Nota Técnica DEA 15/14). Rio de Janeiro. 2014.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. In.: Potencial de Energias Renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. 2014. Belo Horizonte-MG. 120p.

FRITZ, A.G.N.C., VIEIRA, G.E.G., SANTOS JUNIOR, R.K. Reaproveitamento e caracterização do lodo de esgoto para produção de energia renovável. Biomassa & Energia, v. 4, n. 2, p. 121-130, 2011.

GIOMO, G. S. Informações eletrônicas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2006.

IBGE - Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) - 2015; Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2015 - Acesso 07 Abr. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual and Workbook. IPCC, 1996.

Koopmans, A., Koppejan, J. Agricultural and Forest Residues – Generation, Utilization and Availability. In: Regional Consultation

on Modern Applications of Biomass Energy, pp. 6-10, Kuala Lumpur, Malaysia. 1997.

MOTTA, F. S. Produza sua energia - biodigestores anaeróbios: Recife: Editora Recife Gráfica, 1986.

NUCCI, S. M. (2007) Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba. 84 f. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) - Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, v.31, p. 113-122, 2011.

RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; FLORES, J.L.C. Palha de soja (Glycine max) como substituto parcial da silage de sorgo forrageiro (Sorghum bicolor (L.) Moench) na alimentação de terneiros de corte confinados. Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 319-324, 2000. ISSN 0103-8478

SIAMIG – Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais (2017). Perfil da produção. Retirado do site: http://www.siamig.com.br/indicadores/perfil-da-producao, acesso em 23/04/17.

Souza, M. M. Propriedades de briquetes e pellets produzidos com resíduos sólidos urbanos. 2014. Tese (Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 81f. 2014.

WERLE S.; WILK R.K. A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: The Polish perspective. Renewable Energy, doi:10.1016/j.renene.2010.01.019, 2010.

CAPÍTULO 5

ANEEL. (1999). Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Nº 44, de 17 março de 1999.

ANEEL. (2016). ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Retrieved janeiro 2017, from http://www.aneel.gov.br/resultados--de-leiloes

Cardoso, B. M. (2012). Uso da Biomassa como Alternativa Energética. Universdade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ: Monografia.

CENBIO. (2012). Atlas de Bionergia do Brasil. USP, Instituto de Eletrotécnica da Universidade de São Paulo.

Cervi, R. G., Esperancini, M. S., & Bueno, O. C. (2010, set./out.). Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energa elétrica. Eng. Agrícola Jaboticabal, 30(5), 831-844.

CI Florestas. (2013). Centro de Inteligência em Florestas. Retrieved janeiro 2017, from http://www.ciflorestas.com.br/cotacoes.php

Energia CPE. (2017). Retrieved março 24, 2017, from http://energiacpe.blogspot.com.br/

FEAM. (2014). Potencial de energias renováveis Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. In FEAM, Potencial de energias renováveis Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade (p. 120). Belo Horizonte.

FURNAS. (2017). Sistema Furnas de Geração e Transmissão. Retrieved 04 02, 2017, from http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_term_funciona.as

IBGE. (2015). Retrieved fevereiro 2017, from Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=291&z=t&o=29

MME. (2014). Portal Brasil. Retrieved from Ministério de Minas e Energia: www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica

PBH. (2017). Acessoria de Comunicação Social. Prefeitura de Belo Horizonte, Superintendência de Limpeza Urbana - SLU, Belo horizonte.

PMGIRS - BH. (2016). Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte. Superintendência de Limpeza Urbana - SLU, Belo Horizonte - MG.

Portal do reflorestamento. (2017). Retrieved fevereiro 09, 2017, from http://www.portaldoreflorestamento.com.br/eucalipto-vira-poupanca-verde-para-pequenos-produtores.html

Souza, M. M. (2014). Propriedades de Briquetes e Pellets Produzidos com Resíduos Sólidos Urbanos. Universidade Federal de Viçosa - UFV: Tese.

Souza, Z. J. (2012). Bioeletricidade: o que falta para esta alternativa energética deslanchar. Revista Mercado Empresarial, 52-53.

Usina Lins S/A. (2017, Janeiro). Retrieved from Usina Lins : http://www.usinalins.com.br/noticias/2016/06/24/ha-um-ano-baga-

co-de-cana-era-vendido-por-r150-00-a-tonelada-agora-chega-a-r-25-00.html

CAPÍTULO 6

COSTA, F.R. Modelo de aptidão e de localização-alocação de usinas bioenergéticas utilizando Sistemas de Informações Geográficas. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 62 f., 2016.

EIA - Energy Information Administration. Renewable Energy - Official Energy Statistics from the U.S. Government, 2016. Disponível em: <http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=renewable_home>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2014: ano base 2013. Ministério de Minas e Energia, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

GAZZONI, D. L. Agroenergia: situação atual e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A.L., editores. Savanas: desafios e estratégias para equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 861–878, 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A Agroenergia no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/agroenergia-no-brasil>.

OLIVEIRA, A. J.; RAMALHO, J. Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; da SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, 2012.

RANTA, Tapio. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production–a GIS-based availability analysis in Finland. Biomass and Bioenergy, v. 28, n. 2, p. 171-182, 2005.

SANTOS, G. R.; WEHRMANN, M. E. S. F. Agroenergia no Brasil: fragilidades, riscos e desafios para o desenvolvimento sustentável. Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica, v. 15, p. 1-13, 2010.

TEIXEIRA, T. R. Cenários para instalação de usinas de biomassa florestal em Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 59 f., 2016.

TENERELLI, Patrizia; MONTELEONE, M. A. Combined land-crop multicriteria evaluation for agro-energy planning. Italy: SUSTOIL. University of Foggia. 2008.

VAZ Jr, S. Biorrefinarias: cenários e perspectivas. Embrapa Agroenergia, v. 176, 2011.

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS, D.; KOUKIOS, E. G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. Biomass and Bioenergy, v. 20, n. 2, p. 101-112, 2001.

Anexo

VEGETAIS LENHOSOS

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
Benedito Rocha Vital
Paulo Fernandes Trugilho
Luciano Sathler dos Reis
Ruibran Januário dos Reis

Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

A1. VEGETAIS LENHOSOS

A madeira é um material amplamente utilizado e a sua aplicação vai desde a cocção de alimentos em fogão à lenha até usos mais nobres em serraria, produção de celulose, produção de carvão em substituição aos combustíveis fósseis, dentro outros. A Figura A1 apresenta a cadeia produtiva da madeira, que pode ser dividida em três grandes grupos segundo sua destinação.

Na área energética, a madeira, como combustível, é tradicionalmente chamada de lenha e, nessa forma, continuamente ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade (BRITO, 2007), e atualmente vem ganhando espaço, novamente, principalmente no que tange a mitigação dos gases de efeito estufa.

A madeira é uma fonte de energia primária e renovável, que além da energia disponível, atua como importante fator de fixação do carbono atmosférico contribuindo, dessa forma, com a redução do efeito estufa. Devido a sua variabilidade e gama de espécies adaptadas a diferentes condições ambientais, a madeira apresenta-se com um material de extraordinário valor ambiental, social e econômico. A madeira é sem dúvida o mais antigo combustível usado pelo homem.

A biomassa lenhosa pode ser convertida em combustível, sob a forma sólida, líquida ou gasosa, em processos que variam de simples fornos ou até sofisticadas unidades industriais. Estes processos podem ser classificados em: carbonização ou pirólise, combustão, gaseificação e hidrólise ácida ou enzimática. A combustão ou queima direta é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha, porém, a gaseificação e a pirólise são processos termoquímicos que recebem têm recebido especial atenção nos últimos anos. Logo, as novas tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado, têm ganhado importância mundial (CENBIO, 2015).

Cabe, também, relatar que a geração de resíduos de madeira na atividade industrial Brasileira é alta, porém seu baixo aproveitamento ainda é incipente, podendo a vir resultar em danos ambientais, já que apenas uma parcela do volume de resíduos gera aproveitamento econômico. Os resíduos são processados como matéria prima para diversos fins, incluindo o uso energético, contribuindo positivamente na substituição de 14-27 milhões de tep.ano^{-1} (KARJALAINEN et al., 2004, apud WIECHETECK, 2009). Na Figura A2 são apresentadas as principais formas de utilização dos resíduos provenientes das atividades florestais.

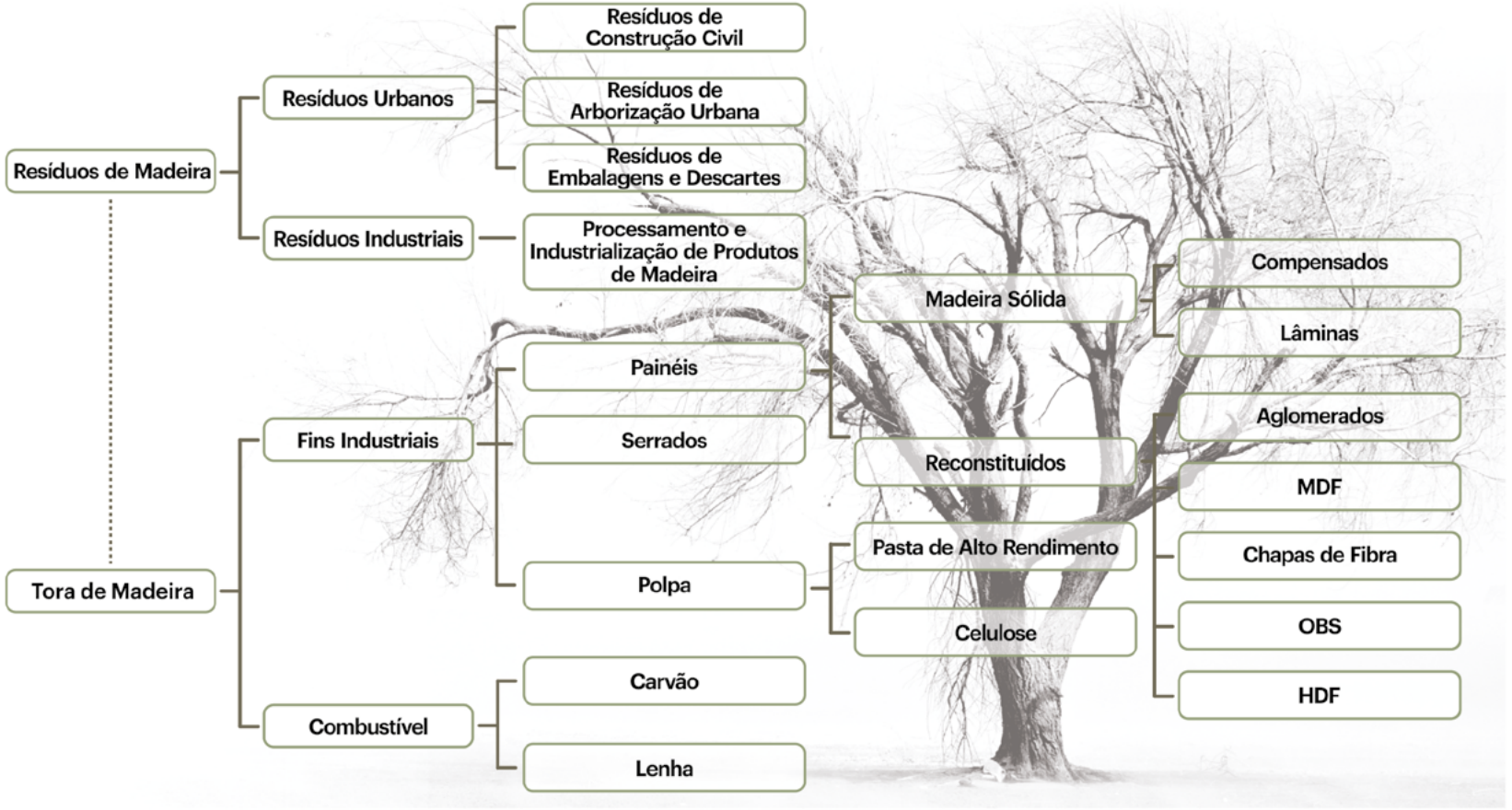


Figura A1 - Cadeia Produtiva da Madeira. - Fonte: Wiecheteck, 2009 (Adaptado).

Figura A2 - Destino do Resíduo de Madeira. - Fonte: Wiecheteck, 2009 (Adaptado).

Várias são as formas disponíveis de biomassa florestal no Brasil, no entanto para alguns usos energéticos a sua utilização diminuiu em detrimento ao aumento do consumo de combustíveis fósseis. Entretanto, atualmente, devido à pressão de órgãos ambientais e de organizações não governamentais para que ocorra uma diminuição na emissão de poluentes, existe uma maior busca por combustíveis provenientes de fontes renováveis, que poluam menos, e neste contexto a utilização da biomassa florestal tem ganhado forças nesse cenário. Além disso, o Brasil apresenta grande potencial para exportação da madeira energética, principalmente para o mercado Europeu e Asiático, devido os compromissos firmados para minimizar a emissão dos gases de efeito estufa, conforme descrito no EU 2030 *Climate and Energy Framework*, publicado em 2014, que determina novas metas relacionadas ao uso sustentável de energia na EU.

Neste contexto, RIBEIRO (2016) ressalta que a biomassa florestal como fonte energética desempenhará um papel importante em relação às preocupações com as mudanças climáticas e a segurança do abastecimento de energia, contribuindo para o crescimento econômico e do emprego, em particular nas zonas rurais. O mesmo autor menciona que a avaliação de impacto do documento publicado em janeiro de 2014, mostra que a utilização da biomassa florestal nos setores de aquecimento e eletricidade deverá aumentar ainda mais a médio prazo, no contexto do esforço da UE para avançar para uma economia de baixo carbono até meados do século XXI. Outro ponto importante que

considerado nas discussões em torno do incremento da biomassa florestal como insumo energético foi o avanço nas tecnologia bioenergética, tanto no que se refere à qualidade da madeira para energia, quanto aos sistemas avançados de produção de calor e geração elétrica.

Neste contexto, salienta que a cobertura florestal do território brasileiro, associada às excelentes condições edafoclimáticas para a silvicultura, confere ao país grandes vantagens para a atividade florestal, comparado ao resto do mundo, tendo como consequência, uma excelente participação no contexto da geração de energia oriunda de fontes renováveis.

EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus* pertence à família *Mirtaceae* e conta com cerca de 600 espécies e grande número de variedades e híbridos (TRUGILHO et al., 1996). Esse gênero foi introduzido no Brasil no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, com a finalidade de ornamentação. Porém, foi somente no inicio do século XX, que foi plantado com o objetivo comercial (PEREIRA et al., 2000).

No Brasil, o gênero *Eucalyptus* é o mais estudado e implantado comercialmente, sendo que no ano de 2015 o total de áreas plantadas foi de 5,6 milhões de hectares. Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto no Brasil foi de 2,8% a.a. Minas Gerais aparece como o principal estado produtor de eucalipto, com 24% da área plantada no país, e o Mato Grosso do Sul se destaca com o plantio de 450 mil hectares nos últimos cinco anos (IBÁ, 2016).

Ressalta-se que a área plantada desse gênero continua em processo de expansão, todavia, em um ritmo menos acelerado devido a crise econômica brasileira. Porém, salienta-se que seu rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies e clones, adaptabilidade e diversificação quanto aos usos da madeira são os principais fatores que contribuem para a expansão contínua da área plantada deste gênero.

De acordo com a literatura, as espécies de eucalipto mais utilizadas em pesquisas, e consequentemente nos plantios, para fins energéticos, são: *Eucalyptus grandis* (FREDERICO, 2009), *Eucalyptus urophylla* (ANDRADE, 2009), *Eucalyptus camaldulensis* (PINHEIRO et al., 2005), *Eucalyptus cloeziana* (PINHEIRO et al., 2005); *Eucalyptus pellita* (OLIVEIRA et al., 2010); *Eucalyptus saligna* (TRUGILHO et al., 2001); híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (TRUGILHO et al., 2005; CAMPOS, 2008; FREDERICO, 2009; ARANTES, 2009, SANTOS, 2010), híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (TRUGILHO et al., 2005; SANTOS, 2010; ROCHA, 2011).

HISTÓRICO

A chegada do eucalipto no Brasil se relaciona com a necessidade da época em obter insumos que pudessem fornecer madeira para locomotivas e dormentes (Locomotivas CPEF e FEPASA). Em uma viagem à Austrália, o doutor Edmundo Navarro Andrade, da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, teve contato com inúmeras espécies de euca-

lipto e notou um potencial significativo para a sua utilização como insumo. Após a introdução da espécie no Brasil entre as décadas de 20 e 60, o eucalipto teve sua produção voltada especialmente para o uso como lenha e indústria de celulose e papel (MOREIRA, 2009).

Especificamente em 1966, o governo federal estabeleceu o programa de incentivos fiscais, a fim de atender a crescente demanda de uma incipiente, porém agressiva indústria baseada na utilização de madeira como matéria-prima, principalmente nas regiões sul e sudeste, as quais estavam já naquela época, completamente destituídas de cobertura florestal natural. Com o advento do programa de incentivos fiscais, a área plantada aumentou consideravelmente (Bertola, s/d).

Apesar da expansão paulatina do eucalipto até os anos 60, institutos e universidades renomadas como a Universidade de São Paulo e a Universidade de Viçosa, exerceram uma contribuição significante através de pesquisas e estudos para que o Eucalipto fosse produzido em escala nacional.

Nas décadas de 70 e 80 foram introduzidas novas espécies ao país, além do resgate genético de diversas variedades oriundas da Austrália, realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, e do Plano Nacional de Desenvolvimento criado pelo Governo Federal (MOREIRA, 2009). O primeiro plantio comercial realizado no estado de Minas Gerais ocorreu no final da década de 40, pela Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, na cidade de Santa Bárbara (VALE, 2004).

Segundo Foelkel (2005; 2015) nas últimas décadas, o Brasil conseguiu desenvolver uma fantástica tecnologia para plantar e fazer crescer florestas, e os saltos de produtividade foram igualmente importantes, pois saiu dos crescimentos abaixo de 20 m³/ha.ano, na década de 60, tendo produtividade média de 40 a 50 m³/ha.ano, na atualidade.

CULTIVO

O eucalipto possui uma ampla plasticidade e dispersão mundial, pois cresce satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, passando desde áreas pantanosas até muito secas, de solos arenosos, de baixa à de alta fertilidade, ocupando, portanto, ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto temperaturas (SANTOS et al., 2001; SCHUMACHER et al., 2005; HASSE, 2006).

No entanto, segundo Del Quiqui1 et al. (2001) as espécies apresentam diferenças fundamentais entre si, quanto às respostas aos estímulos ambientais de cada nicho ecológico. Portanto, para a escolha de espécies componentes de florestas de produção, é imprescindível a realização de ensaios de espécies para avaliação da sua capacidade de adaptação em cada local.

De acordo com Barros e Novais (1990), o processo de escolha de espécies de eucalipto, potencialmente aptas para plantio no Brasil, tem se baseado, primeiramente, em critérios climáticos, porém os autores ressaltam que que outros fatores, tais como as variações do solo, a ocorrência de estiagem prolongada e de pragas e doenças, também podem afetar a adaptabilidade das espécies em um novo local de plantio.

Na Tabela A1 são descritas as espécies mais indicadas para o plantio em função de condições como o uso, solo, clima, etc. (SANTOS et al., 2014).

Espécies	Tipos de Solo				
	Textura Média	Argiloso	Arenoso	Distrófico	Hidromórfico
	E. citriodora	E. citriodora	E. brassiana	E. alba	E. robusta
	E. cloeziana	E. cloeziana	E. camaldulensis	E. camaldulensis	
	E. crebra	E. dunnii	E. deanei	E. grandis	
	E. exserta	E. grandis	E. dunnii	E. maculata	
	E. grandis	E. maculata	E. grandis	E. paniculata	
	E. maculata	E. paniculata	E. robusta	E. pyrocarpa	
	E. paniculata	E. pellita	E. tereticornis	E. propinqua	
	E. pellita	E. pilularis	E. saligna		
	E. pilularis	E. pyrocarpa	E. urophylla.		
	E. pyrocarpa	E. saligna			
	E. saligna	E. urophylla			
	E. tereticornis				
	E. urophylla				

Tabela A1 - Espécie de eucalipto indicada em função do solo
Fonte: ANGELI, IPEF, 2005, Adaptado.

O clima da região escolhida para o plantio do eucalipto é uma importante variável a ser considerada visando uma produtividade ótima. Fatores como a temperatura, regime pluviométrico e umidade relativa do ar, tem considerável influência sobre a escolha da espécie a ser plantada, além da qualidade produtiva (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2014).

A limpeza da área de plantio (recolhimento de resíduos) poderá ocorrer de maneira mecânica ou manual e será influenciada pela topografia local somada ao orçamento do produtor. Terrenos que apresentam maior pré-disposição a processos erosivos não devem receber um tratamento intensivo. Um aspecto determinante na produtividade e qualidade da produção é o espaçamento das mudas (DOS SANTOS et al., 2014).

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

Na avaliação da biomassa madeira como matéria prima para produção de energia deve-se levar em consideração várias características, além da sua composição química, elementar e imediata. Deve-se iniciar considerando as características de crescimento ou dendrológicas da planta, pois estas influem significativamente sobre a produção de massa seca individual ou por área. A densidade básica, o teor de umidade, o poder calorífico superior, inferior ou líquido, são outras propriedades normalmente consideradas.

Em virtude das variações encontradas no lenho das árvores, a madeira é considerada um material desuniforme. Estas variações podem ser atribuídas aos fatores genéticos, ambiental e interação genótipo x ambiente (ZOBEL e JETT, 1995). Existem variações entre espécies, embora sejam significativas dentro de uma mesma espécie, em virtude da

idade e práticas silviculturais. Dentro de uma mesma espécie, a composição varia com a altura do tronco e com a distância a partir da medula, em direção à casca. Além disso, há diferenças significativas entre cerne e alburno, madeira de início e madeira de fim de estação de crescimento. Em escala microscópica, observam-se diferenças até mesmo entre células individuais (BROWNING, 1963). Abaixo são descritas as principais propriedades da madeira a serem consideradas para seu uso energético.

DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica da madeira é considerada por muitos pesquisadores como sendo um excepcional índice qualidade. Esta afirmação é fundamentada devido à grande associação da densidade básica com diversas outras propriedades da madeira. Trata-se do menor valor numérico de densidade que se pode obter na madeira, pois é representada pela relação entre a massa seca, menor massa, pelo volume verde ou saturado, maior volume. Esta característica influencia diretamente sobre a densidade energética do combustível, no caso a madeira. Também está relacionada com a densidade relativa aparente do carvão vegetal, em que as madeiras mais densas produzirão carvão mais denso. A densidade relativa aparente é uma importante característica do carvão vegetal destinado especialmente ao setor siderúrgico.

As espécies de *Eucalyptus* apresentam grande variação no valor da densidade básica da madeira, devido ao efeito do genótipo, ambiente e interação genótipo x ambiente, além da idade e dentre outros fatores. A Tabela A2 apresenta valores médios de densidade básica da madeira para algumas espécies de *Eucalyptus* em diferentes idades.

Santana (2009) avaliou o efeito da idade (34, 48, 61, 74 e 86 meses) do material genético sobre a densidade básica da madeira em um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (FIGURA A3). A autora observou tendência de aumento da densidade básica com a idade. Verifica-se que a densidade básica da madeira apresenta tendência de aumento com a idade do material genético, porém com menores incrementos nas idades mais avançadas.

Espécie	Idade	Densidade básica (g/cm3)	Espécie	Idade	Densidade básica (g/cm3)
E. dunnii	8	0,464	*E. camaldulensis*	4	0,584
	13	0,511	*E. grandis*	3	0,393
	15	0,547		4	0,406
	19	0,483		9	0,564
E. propinqua	9	0,623	*E. resinifera*	4	0,562
E. urophylla	4	0,490	*Híbrido*	5	0,474
	5	0,498		6	0,513
	6	0,560		7	0,518
	7	0,510	*E. pellita*	5	0,544
E. saligna	5	0,569		6	0,533
E. microcoris	5	0,556		7	0,545
E. cloeziana	4	0,508	*E. tereticornis*	7	0,614
	6	0,562		8	0,585
	7	0,590	*C. maculata*	5	0,643
	8	0,630		7	0,631
	9	0,642		9	0,685

Tabela A2 - Densidade básica da madeira para algumas espécies de Eucalyptus em diferentes idades.

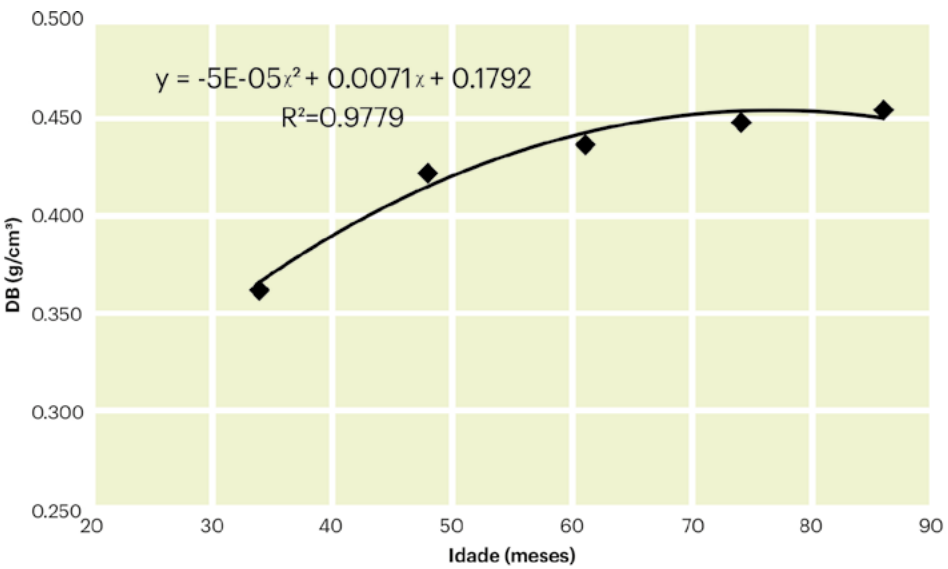


Figura A3 – Efeito da idade do material genético sobre a densidade básica da madeira de um clone de *Eucalyptus*. - Fonte: SANTANA (2009)

Como a maioria das propriedades da madeira a densidade básica possui grande variação dentro do lenho no sentido da base para o topo da árvore, mas especialmente no sentido da medula para a casca. Pádua (2009) estudou os padrões de variação longitudinal e radial da madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x E*ucaliptus urophylla* aos seis anos de idade. A autora ajustou modelos de regressão que descrevem o comportamento da densidade básica em três diferentes classes diamétricas. A Figura A4 mostra o padrão de variação da densidade básica da madeira nos sentidos longitudinal e radial observado por Pádua (2009). Verifica-se que a variação radial apresentou uma maior magnitude que a longitudinal, o que está de acordo com o relatado por Malan (1991, 1995).

Em virtude da estreita associação entre a densidade básica da madeira e a densidade relativa aparente do carvão vegetal é possível obter modelos de predição envolvendo estas duas características. A Figura A5 mostra um exemplo de relação funcional observada entre a densidade básica da madeira e a densidade relativa do carvão vegetal para nove clones de *Eucalyptus*, plantados no Norte de Minas Gerais aos 78 meses de idade. Observa-se que quanto maior for a densidade básica da madeira maior será a densidade relativa aparente do carvão vegetal produzido e que o incremento de 0,100 g/cm^3, densidade básica variando de 0,480 a 0,580 g/cm^3, proporcionará aumento de 0,96 g/cm^3 na densidade relativa aparente do carvão vegetal.

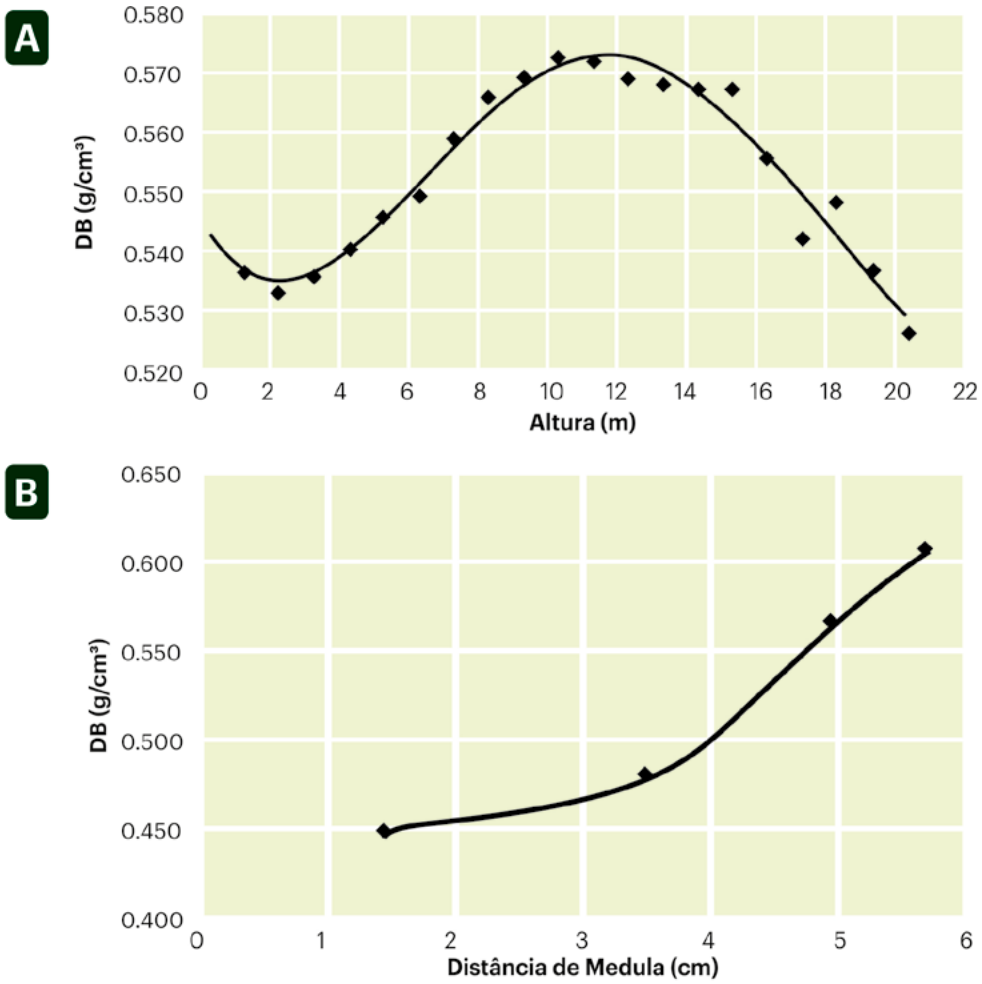


Figura A4 – Padrão de variação longitudinal (A) e radial (B) da densidade básica.
Fonte: PÁDUA (2009)

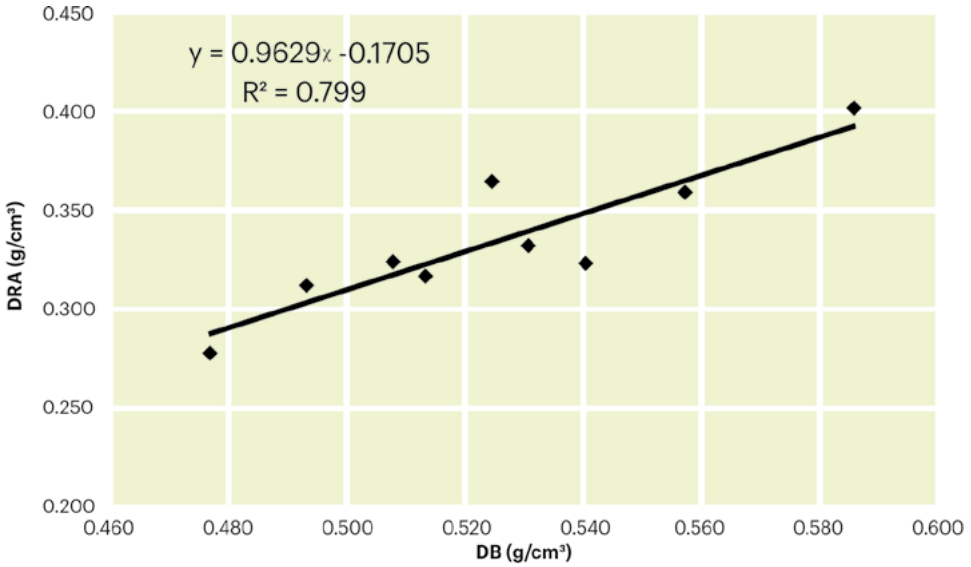


Figura A5 – Relação funcional observada entre a densidade básica da madeira e a densidade relativa do carvão vegetal em nove clones de *Eucalyptus*. - Fonte: Autor

Empresas como a APERAM Bioenergia tem investido no desenvolvimento de novos cruzamentos controlados (hibridação) entre as espécies *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* no sentido de obter genótipos de madeira mais densa e com produtividade florestal elevada. A Tabela A3 apresenta os valores médios das características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca de sete clones aos 3,75 anos de idade. Apesar da idade, é possível observar que os genótipos já apresentam elevada densidade básica da madeira e associado ao crescimento podem gerar grande quantidade de matéria seca, especialmente o clone 6. O clone 3 se destaca no valor da sua densidade básica acima de 0,600 g/cm3.

DAP (cm)	DAP (cm)	Ht (m)	Vcc (m³)	Vsc (m³)	DB (g/c m³)	MS (kg)
1	10,48	13,48	0,0511	0,0390	0,545	21,26
2	12,71	13,70	0,0735	0,0572	0,545	31,14
3	11,19	13,69	0,0601	0,0470	0,641	30,09
4	11,80	15,12	0,0812	0,0655	0,586	38,35
5	12,15	14,31	0,0730	0,0530	0,506	26,86
6	14,83	17,73	0,1154	0,0927	0,597	55,35
7	12,69	15,35	0,0833	0,0632	0,545	34,43
Média Geral	12,26	14,77	0,0768	0,0596	0,566	33,96
CV (%)	15,63	10,45	31,19	33,72	7,56	36,71

DAP = diâmetro a altura do peito, Ht = altura total, Vcc e Vsc = volume com e sem casca, DB = densidade básica e MS = estimativa de massa seca.

Tabela A3 - Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca de sete clones híbridos do cruzamento do *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Na madeira e nos combustíveis tradicionais pode-se obter informação a respeito da composição química, elementar e imediata. A composição química se refere aos componentes químicos que formam a estrutura da madeira. Nesse caso, a madeira é um material composto por diferentes componentes químicos, os quais desempenham funções especificas. Basicamente a madeira é composta por celulose, hemiceluloses e lignina, além dos extrativos e compostos minerais em menores quantidades. Os teores de lignina e extrativos são os mais interessantes do ponto de vista energético da madeira, devido ao elevado valor calórico associado a estes componentes. O elevado valor calórico da lignina e extrativos se deve a sua estrutura química, tipo de ligação química das estruturas, o mais elevado conteúdo de carbono e hidrogênio em relação aos carboidratos (BRAND, 2010). Além disso, a lignina é o componente químico mais resistente a decomposição térmica, estando diretamente relacionada com a produção do carvão vegetal. Na Tabela A4 são apresentados os valores médios das características químicas da madeira de diferentes espécies de *Eucalyptus* e em várias idades. Observa-se que a maioria das madeiras dos diferentes materiais genéticos apresentou baixo teor de cinzas e elevado teor de lignina, o que é importante para o uso energético.

Espécie	Idade	Teor de (%)			
		Cinzas	Extrativos	Lignina	Holocelulose
C. maculata	7	0,68	4,01	23,74	72,48
	9	0,47	5,24	22,96	72,47
E. dunnii	8	0,34	2,51	25,12	72,04
	13	0,22	2,91	24,96	71,92
	15	0,31	2,26	24,47	72,96
	19	0,32	2,10	24,16	73,42
E. pellita	5	0,50	7,34	30,12	64,11
	6	0,38	5,43	30,48	65,28
	7	0,49	7,32	31,33	62,99
E. tereticornis	7	0,50	10,37	31,92	60,21
	8	0,39	6,50	31,65	63,39
E. urophylla	4	0,24	3,73	28,63	68,43
	5	0,42	7,40	28,40	65,74
	6	0,39	9,06	27,16	65,64
	7	0,34	5,47	29,03	66,67
E. grandis	3	0,71	2,49	28,05	69,44
	4	0,55	3,18	28,93	68,23
E. cloeziana	4	0,12	5,61	29,95	65,90
	6	0,27	4,28	29,53	67,13
	7	0,22	5,41	27,88	67,92
	8	0,20	5,14	30,27	65,87
	9	0,15	7,85	27,75	66,27
Híbrido	5	0,35	3,03	29,17	68,31
	6	0,29	6,06	28,75	66,55
	7	0,29	4,34	28,52	68,04
E. camaldulensis	4	0,29	4,33	31,50	65,19
E. resinifera	4	0,27	1,97	31,09	67,26

Tabela A4 - Valores médios das características químicas da madeira de diferentes espécies de *Eucalyptus* e em várias idades

Além da quantidade de lignina presente na madeira, tem-se destacado nas pesquisas mais recentes a importância de se avaliar a composição ou qualidade da lignina da madeira de *Eucalyptus*, ou seja, a relação siringil/guaiacil (S/G) (CASTRO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013; SOARES et al., 2014). A lignina é uma macromolécula formada a partir da polimerização desidrogenativa enzimática de três álcoois precursores (SARKANEN e LUDWIG, 1971), ou seja, o trans-p-cumárico (unidade cumaril), trans-coniferílico (unidade guaiacil) e trans-sinapílico (unidade siringil).

Espera-se que quanto menor a relação siringil/guaiacil (S/G) maior o rendimento gravimétrico em carvão vegetal em decorrência da maior condensação da molécula de lignina e, consequentemente, da sua maior resistência à degradação térmica (CASTRO et al., 2013; PEREIRA et al., 2013). O poder calorífico da madeira também é influenciado pela relação S/G. Sabe-se que a unidade guaiacil apresenta maior relação C/O, comparativamente à unidade siringil, e isso aumenta o valor calórico, pois o carbono é o principal elemento químico combustível.

Apesar de Castro et al. (2013) e Pereira et al. (2013) utilizarem a relação siringil/guaiacil da lignina como parâmetro de classificação de clones de *Eucalyptus* para a finalidade energética, ainda existe carência de pesquisas relacionadas a aplicação desse índice, juntamente com as características de crescimento, na seleção de clones de *Eucalyptus*, bem como das correlações entre a qualidade da lignina com os parâmetros de combustão da madeira e com as propriedades químicas do carvão vegetal.

A lignina de angiospermas monocotiledôneas é formada pelos três álcoois precursores, mas a unidade siringil se encontra em menor proporção (ZHANG et al., 2012). As madeiras de coníferas o álcool coniferílico é o principal precursor da lignina, sendo 85 a 90% de unidades aromáticas do tipo guaiacil. Os álcoois sinapílico e coniferílico são ambos precursores da lignina das madeiras de folhosas, razão que varia de 0,5 a 4 de unidades siringil e guaiacil, aproximadamente (SARKANEN & LUDWIG; 1971; SJÖSTRÖM, 1993).

Pereira et al. (2013) observaram relação S/G média variando de 2,33 a 2,95 para seis clones de *Eucalyptus* aos 7,5 anos. Castro et al. (2013) encontraram valores para a relação S/G de 3,18 e 2,33 para a madeira dos clones comerciais GG 157 e GG 3192 aos 3 e 7 anos de idade, respectivamente. Esse resultado indica que madeiras mais jovens tendem a apresentar relação S/G maior, corroborando com os resultados de Soares et al. (2014, 2015). Esses autores encontraram relação S/G para a madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* de 3,50, 3,20 e 2,30 para as idades de 3, 5 e 7 anos, respectivamente.

Na Tabela A5 apresenta os valores médios de densidade básica, teor de lignina e da relação S/G provenientes de clones plantados em teste clonal na região norte de Minas Gerais. Estes clones possuem 81 meses de idade e foram plantados em espaçamento 3m x 3 m, são representantes do *Eucalytpus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. pellita* e seus híbridos. Observa-se que a relação S/G da lignina apresentou na média variação de 2,11 a 4,03 entre os clones.

Clone	Densidade básica (g/cm3)	Lignina (%)	S/G	Clone	Densidade básica (g/cm3)	Lignina (%)	S/G
1	0,542	31,28	3,39	22	0,522	28,23	2,69
2	0,543	30,08	2,85	23	0,517	27,07	3,70
3	0,495	29,20	3,17	24	0,551	29,45	4,03
4	0,564	28,03	2,85	25	0,571	31,26	2,53
5	0,542	30,13	3,20	26	0,469	29,88	3,07
6	0,495	30,53	2,96	27	0,552	28,40	2,97
7	0,543	29,32	3,32	28	0,504	30,14	2,11
8	0,456	31,07	2,82	29	0,528	28,91	3,24
9	0,569	30,39	3,11	30	0,513	28,90	3,26
10	0,545	29,13	3,10	31	0,498	27,91	2,64
11	0,554	28,79	3,31	32	0,497	29,14	3,08
12	0,558	28,30	2,77	33	0,553	30,73	2,91
13	0,539	28,00	2,90	34	0,465	30,80	3,07
14	0,509	29,68	3,20	35	0,510	29,20	3,80
15	0,519	29,27	3,24	36	0,554	29,67	2,81
16	0,496	29,90	2,73	37	0,521	29,21	3,34
17	0,552	27,44	3,28	38	0,507	29,52	3,67
18	0,511	30,12	3,64	39	0,570	32,64	2,54
19	0,472	28,06	3,07	Média	0,524	29,48	3,08
20	0,545	29,55	2,98	CV (%)	6,18	18,30	19,12
21	0,493	30,27	2,63				

Tabela A5 - Valores médios de densidade básica, teor de lignina total e relação S/G.

A composição química elementar se refere aos teores dos elementos químicos que formam a madeira. Neste contexto, a madeira é formada basicamente por carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e enxofre em pequenas quantidades. Estes elementos não variam muito entre as espécies de forma geral, exceto o nitrogênio e o enxofre. Segundo BRAND (2010) a composição química elementar constitui a base dos cálculos de combustão, pois é a partir da porcentagem de cada elemento, especialmente o carbono e o hidrogênio, que pode ser determinado o potencial energético de um combustível. Alguns autores consideram a composição química elementar a característica mais importante dos combustíveis.

Para utilizar a madeira ou a biomassa como fonte de energia deve-se conhecer os teores de nitrogênio e enxofre, pois elevadas quantidades desses elementos tem impacto negativo ao meio ambiente e na saúde humana, devido a emissões de gases de óxido nítrico (NO_x) e dióxido de enxofre (SO_2), produzidos durante a combustão. Além disso, estes gases podem provocar problemas de corrosão nos equipamentos de combustão

ou queima (OBERNBERG et al., 2006; MUNALULA e MEINCKEN, 2009).

Na Tabela A6 são apresentados os valores médios de componentes químicos elementares observados na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus* em diferentes idades, enquanto que as Tabelas A7 e A8 apresentam a composição química elementar de diferentes clones de *E. urophylla* e *E. grandis*, aos 54 meses de idade, plantados em teste clonal em Minas Gerais, respectivamente.

Idade (meses)	Porcentagem (%)					C/H	C/H
	C	H	N	S	O		
34	48,72	6,68	0,13	0,06	44,41	7,29	374,77
48	48,74	6,74	0,13	0,12	44,27	7,23	374,92
61	48,72	6,55	0,12	0,05	44,57	7,44	406,00
74	48,65	6,55	0,10	0,04	44,66	7,43	486,50
86	48,93	6,61	0,09	0,05	44,33	7,40	543,67

C = carbono, H = hidrogênio, N = nitrogênio, S = enxofre e O = oxigênio

Tabela A6 - Efeito da idade do material genético sobre a composição química elementar da madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus*. - Fonte: SANTANA (2009)

Clone	Porcentagem (%)					C/H	C/H
	C	H	N	S	O		
1	48,13	6,43	0,09	0,07	45,28	7,49	34,78
2	49,45	6,29	0,09	0,07	44,09	7,86	549,44
3	48,95	6,30	0,10	0,30	44,35	7,77	489,50
4	47,99	6,16	0,08	0,09	45,68	7,79	599,88
5	49,41	6,36	0,09	0,07	44,07	7,77	549,00
6	49,82	6,30	0,06	0,07	43,74	7,91	830,33
7	48,42	6,28	0,07	0,13	45,09	7,71	691,71
8	47,65	6,19	0,08	0,24	45,83	7,70	595,63
9	49,34	6,36	0,10	0,12	44,08	7,76	493,40
10	49,88	6,44	0,09	0,03	43,55	7,75	554,22
11	49,31	6,28	0,09	0,18	44,13	7,85	547,89
12	50,27	6,43	0,08	0,06	43,16	7,82	628,38
13	49,45	6,28	0,09	0,08	44,09	7,87	549,44
14	49,22	6,19	0,11	0,08	44,40	7,95	447,45
15	49,68	6,32	0,12	0,19	43,69	7,86	414,00
Média	49,13	6,31	0,09	0,12	44,35	7,79	565,00
Mínimo	47,65	6,16	0,06	0,03	43,16	7,49	414,00
Máximo	50,27	6,44	0,12	0,30	45,83	7,95	830,33

C = carbono, H = hidrogênio, N = nitrogênio, S = enxofre e O = oxigênio

Tabela A7 - Composição química elementar de diferentes clones de *E. urophylla* aos 54 meses de idade.

Clone	Porcentagem (%)					C/H	C/H
	C	H	N	S	O		
1	49,81	6,34	0,10	0,05	43,71	7,86	498,10
2	49,23	6,39	0,09	0,27	44,03	7,70	547,00
3	49,17	6,34	0,10	0,25	44,14	7,76	491,70
4	49,49	6,38	0,10	0,22	43,81	7,76	494,90
5	48,85	6,28	0,10	0,24	44,52	7,78	488,50
6	49,38	6,30	0,10	0,04	44,18	7,84	493,80
7	50,30	6,42	0,09	0,02	43,17	7,83	558,89
8	49,72	6,32	0,07	0,06	43,83	7,87	710,29
9	49,69	6,37	0,10	0,06	43,78	7,80	496,90
10	48,94	6,31	0,10	0,23	44,41	7,76	489,40
Média	49,46	6,35	0,10	0,14	43,96	7,79	526,95
Mínimo	48,85	6,28	0,07	0,02	43,17	7,70	488,50
Máximo	50,30	6,42	0,10	0,27	44,52	7,87	710,29

C = carbono, H = hidrogênio, N = nitrogênio, S = enxofre e O = oxigênio

Tabela A8 - Composição química elementar de diferentes clones de *E. grandis* aos 54 meses de idade.

Observa-se, na Tabela A6, que os valores dos componentes elementares não variaram muito com a idade, exceto o teor de nitrogênio, e que as relações C/N mais favoráveis, ou seja, as maiores relações ocorreram nas idades mais avançadas. Resultados similares ocorreram na madeira dos diferentes clones de *Eucalyptus* avaliados (Tabelas A7 e A8).

Considerando a variação longitudinal e radial ao fuste das árvores Arantes (2009) observou que o teor de carbono tende a reduzir e os teores de hidrogênio e oxigênio tendem a aumentar com o aumento da distância da medula. Verificou ainda que o teor de carbono foi maior nas partes mais basais da árvore e que os teores de hidrogênio e oxigênio não apresentaram grandes variações com a altura relativa nas classes diamétricas avaliadas. A autora encontrou valores médios de 49,74%, 6,36%, 0,18% e 43,74% para o teor de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, respectivamente, na madeira de clone hibrido de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade.

A composição química imediata quantifica os teores de umidade, material volátil, cinzas e, por diferença, o carbono fixo. Esta análise é útil para quantificar as quantidades de material que fornece energia no estado gasoso e sólido. Na madeira geralmente obtêm-se grandes quantidade de material volátil e pequeno conteúdo de carbono fixo, o inverso ocorre com o carvão vegetal. O teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao de materiais voláteis.

Segundo BRAND (2010) o teor de materiais voláteis, representado pelos componentes do combustível volatilizados em temperatura elevada e atmosfera inerte, tem importante na combustão. Com exceção do carvão (mineral ou vegetal), os demais combustíveis

sofrem volatilização da maior parte de seus componentes químicos antes de se queimarem totalmente. Após essa etapa, a forma gasosa se mistura com o oxigênio disponível, promovendo reações de combustão. O conhecimento do teor de materiais voláteis e do carbono fixo é importante para se estimar o grau de combustão dos combustíveis. Combustíveis com elevados teores de carbono fixo e baixos de materiais voláteis deverão queimar mais lentamente e, portanto, poderão requerer maior tempo de residência para a sua queima total. De forma geral, a madeira apresenta de 75 a 85% de materiais voláteis e 15 a 25% de carbono fixo, enquanto que o carvão vegetal valores inversos de carbono fixo e materiais voláteis. No carvão vegetal os teores de carbono fixo e de materiais voláteis sofrem influência direta da temperatura final de carbonização. Na Tabela A9 são apresentados os valores médios da análise química imediata da madeira de diferentes clones de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* aos 54 meses de idade.

Clone	Umidade (%)	TMV (%)	Teor Cinzas (%)	TCF (%)
G1	11,42	84,85	0,10	15,05
G2	10,56	83,84	0,01	16,14
G3	10,85	83,90	0,03	16,07
G4	11,98	82,94	0,04	17,03
G5	10,76	85,38	0,01	14,61
G6	10,81	83,80	0,10	16,11
G7	10,32	84,20	0,15	15,66
G8	10,80	83,38	0,09	16,53
G9	10,31	84,32	0,07	15,60
G10	10,56	84,71	0,03	15,27
Média	10,84	84,13	0,06	15,81
Máximo	11,98	85,38	0,15	17,03
Mínimo	10,31	82,94	0,01	14,61
U1	9,58	85,78	0,06	14,16
U2	9,62	86,09	0,06	13,86
U3	4,67	85,68	0,11	14,21
U4	15,25	86,11	0,12	13,77
U5	9,65	85,14	0,06	14,80
U6	11,73	86,55	0,07	13,39
U7	9,47	86,42	0,05	13,53
U8	9,21	85,36	0,04	14,60
U9	10,61	88,28	0,04	11,68
U10	9,61	86,43	0,07	13,51
U11	9,36	87,09	0,07	12,84
U12	9,62	87,13	0,05	12,82
U13	9,40	87,29	0,07	12,65
U14	9,23	85,42	0,04	14,53
U15	10,65	85,39	0,06	14,55
Média	9,84	86,28	0,06	13,66
Máximo	15,25	88,28	0,12	14,80
Mínimo	4,67	85,14	0,04	11,68

TMV = Teor de materiais voláteis, TCF = Teor de carbono fixo, base seca

Tabela A9 - Valores médios da análise química imediata da madeira de diferentes clones de *Eucalyptus grandis* (G) e *E. urophylla* (U) aos 54 meses de idade.

Pela Tabela A9 pode-se verificar que os clones do *E. grandis* apresentaram menor teor de materiais voláteis e, consequentemente, maior teor de carbono fixo, que os clones de *E. urophylla*. Na média, o teor de cinzas não foi diferente entre os clones.

PODER CALORÍFICO

A estimativa de poder calorífico volumétrico tende a discriminar mais os diferentes materiais genéticos, o que proporcionará uma melhor visão sob o ponto de vista energético da biomassa. Na Tabela A10 são apresentados os valores médios de poder calorífico superior da madeira para diferentes materiais genéticos de eucalipto. Observa-se que o poder calorífico volumétrico apresenta uma maior variação, o que auxilia na melhor classificação dos materiais genéticos. Deve-se, entretanto, lembrar que o poder calorífico volumétrico é uma combinação entre duas propriedades da madeira, ou seja, o PCS e o volume individual da árvore.

Espécie	Idades (anos)	Poder Calorífico Superior	
		Massa (kcal/kg)	Volume (kcal /m ³)
E. maculata	7	4248	2684811
	9	4302	2942476
E. pellita	5	4425	2407196
	6	4477	2390661
	7	4443	2425683
E. tereticornis	7	4403	2694807
	8	4358	2562516
E. urophylla	4	4581	2244891
	5	4413	2197845
	6	4447	2490348
	7	4386	2236917
E. grandis	3	4533	1777119
	4	4517	1861020
E. cloeziana	4	4609	2792963
	6	4429	2488911
	7	4411	2602345
	8	4494	2831475
	9	4382	2813479
Híbrido	5	4430	2099591
	6	4310	2215197
	7	4429	2302878
E. camaldulensis	4	4609	2691585
E. resinifera	4	4632	2603296

Tabela A10 - Valores médios de poder calorífico superior da madeira de espécies de *Eucalyptus*.

O poder calorífico sofre influência de diversos fatores dentre eles pode-se citar: a) teor de umidade do combustível; b) composição química; c) composição química elementar; d) densidade do combustível; e) relação C/H.

O teor de umidade do combustível possui relação linear e inversamente proporcional com o seu poder calorífico. Na Figura A6 é mostrado o efeito do teor de umidade sobre o poder calorífico da madeira.

Brand (2010) também destaca a importância do efeito do teor de umidade no valor calórico de diferentes amostras da madeira de Pinus e *Eucalyptus*.

A composição química da madeira afeta consideravelmente o seu poder calorífico, onde o teor de lignina e extrativos são os principais fatores responsáveis pelo seu au-

mento, enquanto que o teor de cinzas ou minerais provoca a sua redução. A Figura A7 mostra o efeito do teor de lignina (LIG) e extrativos totais (TET) sobre o poder calorífico superior da madeira em clones de eucaliptos. Verifica-se uma tendência de aumento positivo e linear do poder calorífico superior com o teor de lignina e extrativos totais, sendo mais evidente para o teor de extrativos.

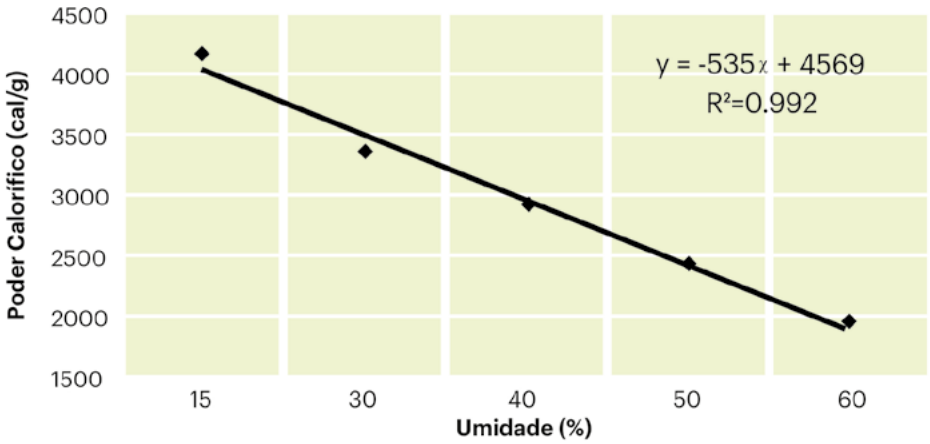


Figura A6 – Efeito do teor de umidade no poder calorífico da madeira. - Fonte: MITRE (1982)

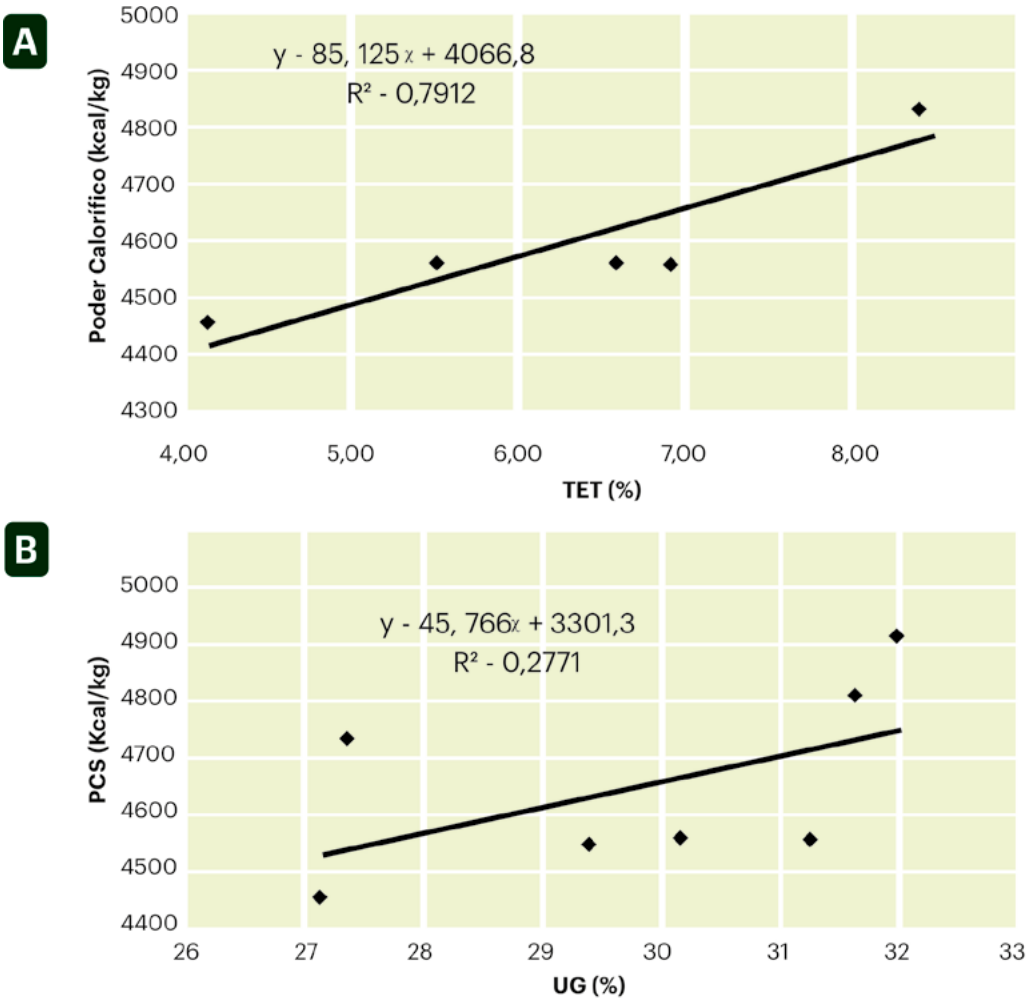


Figura A7 – Relação entre o teor de lignina (A) e extrativos totais (B) e o poder calorífico superior da madeira em clones de eucalipto.

Pela Figura A7 pode-se verificar que o teor de lignina na madeira apresentou uma fraca relação linear com o poder calorífico superior, porém a tendência observada foi de aumento. Contudo, o teor de extrativos totais apresentou forte relação linear positiva com o poder calorífico superior. Deve ser ressaltado que o valor calórico de certos tipos de extrativos é realmente elevado, porém este fato não ocorre de forma generalizada na madeira, onde os extrativos à base de carboidratos não apresentam valor calórico alto. Brand (2010) mostra a influência negativa do teor de cinzas sobre o valor calórico da madeira. Como a fração mineral não é queimada para geração de calor, espera-se que os materiais mais ricos em minerais possuirão poder calorífico de menor magnitude.

A composição química elementar afeta positivamente o poder calorífico, pois o calor de formação associado a uma substância ou um composto químico depende da entalpia dos produtos da reação e dos elementos químicos de sua composição. O calor de for-

mação é simplesmente a mudança na entalpia associada com a formação da substância pelos seus componentes elementares, como pode ser ilustrado pela equação A1.

Equação A1 $$\Delta H = \sum Hf\,(produtos) - \sum Hf\,(reagentes)$$

onde, ΔH é a variação da entalpia da reação e *Hf* é a entalpia de formação.

A Figura A8 mostra a relação funcional existente entre o teor de carbono e hidrogênio elementar da madeira com o poder calorífico superior (PCS). Os valores positivos do coeficiente de regressão (B1) nos dois modelos podem ser interpretados como aumento de 64,14 e 514,75 kcal kg^{-1} quando se aumento 1% de carbono e hidrogênio, respectivamente.

A madeira possui poder calorífico variado dependendo da espécie. As madeiras de coníferas possuem poder calorífico superior médio em torno de 5.200 kcal/kg, enquanto que as madeiras de folhosas possuem poder calorífico superior médio de 4.500 kcal/kg. A composição química é a responsável por essa variação, estando relacionada diretamente ao teor de lignina, extrativos e minerais.

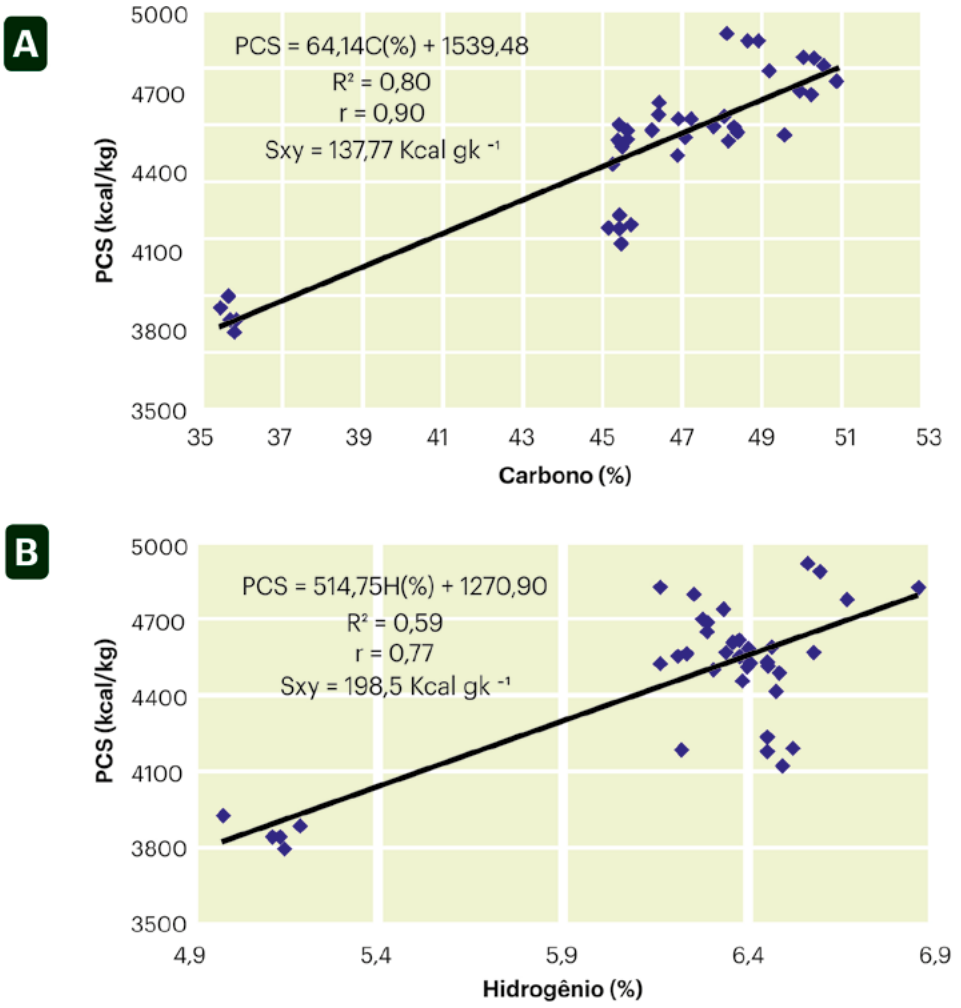


Figura A8 – Relação funcional entre o teor de carbono (A) e hidrogênio (B) elementar como poder calorífico superior. - Fonte: Protásio et al. (2011)

Como relatado anteriormente a madeira é composta basicamente por celulose, hemiceluloses e lignina. Componentes denominados de extrativos e minerais geralmente ocorrem em pequenas quantidades na maioria das espécies.

A celulose é composta inteiramente por unidades de açúcares (anidro-glicose), cuja fórmula elementar é $C_6H_{10}O_5$, possuindo baixo conteúdo calorífico ($\Delta H^{25°C}$ = -4143 cal/g), devido ao elevado nível de oxidação (SHAFIZADEH, 1977).

As hemiceluloses são compostas por vários outros tipos de açúcares, sendo os mais comuns à glicose, manose, galactose, xilose e arabinose. Também possuem baixo valor calórico devido ao elevado nível de oxidação.

A lignina que é composta predominantemente por unidades de coniferil, nas coníferas, e siringil, nas folhosas, apresenta fórmula elementar $C_{10}H_{11}O_2$, possuindo um baixo grau de oxidação e um maior calor de combustão ($\Delta H^{25°C}$ = -6371 cal/g) (SHAFIZADEH, 1977).

Alguns extrativos, especialmente os hidrocarbonetos terpenóides e lipídios, possuem menos oxigênio na estrutura química e maior calor de combustão ($\Delta H^{25°C}$ = -7700 a -8500 cal/g) (SHAFIZADEH, 1977).

As diferenças nos calores de combustão são devidas a natureza das ligações intermoleculares. Na madeira os tipos de ligações químicas existentes são as covalentes, entre C_6H, C O, C C, C=O, C=C e O H, ligações de hidrogênio (5,7 cal) e de Van der Waals (1 a 2 cal). Nos carboidratos ocorrem às ligações covalentes C C, C O, C H e O H, além das ligações de hidrogênio e Van der Waals, enquanto que a molécula da lignina apresenta ainda as ligações do tipo C=O e C=C. A Tabela A11 apresenta a energia de ligação de algumas ligações químicas.

Ligação Química	Energia (kcal mol $^{-1}$)	Ligação Química	Energia (kcal mol^{-1})
H—H	103,2	C—O	79,0
H—O	109,4	C=C	145,0
H—C	98,2	C=O	173,0
C—C	85,0		

Tabela A11 - Energias de ligação de algumas ligações químicas.
Fonte: http://www.soq.com.br/conteudos/em/termoquimica/p4.php

A energia necessária para romper a ligação química de uma molécula ou substância é chamada de energia de ligação ou entalpia de ligação. A entalpia de ligação é a variação de entalpia verificada na quebra de 1 mol de uma determinada ligação química, sendo que todas as substâncias estejam no estado gasoso, a 25 °C e 1 atmosfera (atm), sendo expressadas em kcal ou kJ mol^{-1} e representam a quantidade de calor liberado quando essas ligações se formam ou absorvido quando se quebram, por mol de material a uma dada temperatura.

ANÁLISES TÉRMICAS

Análise térmica é um termo que abrange um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância, ou de seus produtos de reação, é monitorada em função do tempo ou temperatura, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

A termogravimetria, a análise térmica diferencial e a calorimetria exploratória diferencial são ferramentas que atualmente vem sendo empregadas para avaliar as propriedades físicas e químicas de materiais destinados a produção de energia, tanto para materiais lignocelulósicos quanto materiais de origem fóssil.

A termogravimetria (TGA) ou análise termogravimétrica fornece informações acerca da composição e estabilidade térmica. É uma técnica de análise térmica basicamente quantitativa, utilizada para medir variações de massa sofridas pela amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação), em função da temperatura ou do tempo (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

Para Camargo (2006), o estudo da cinética da degradação térmica da biomassa, incluindo a emissão de voláteis, é essencial para a compreensão da dinâmica do processo, visando explicar os fenômenos envolvidos durante a degradação térmica.

A análise termogravimétrica de biomassa tem sido aplicada extensamente para determinar os parâmetros cinéticos envolvidos no processo de pirólise, tais como a energia de ativação aparente, constantes de reação e o fator pré-exponencial (MIRANDA, 2011).

A termogravimetria derivada (DTG) é a representação matemática da derivada primeira da curva termogravimétrica em função do tempo ou da temperatura e permite definir com maior precisão os inícios e finais dos eventos térmicos e verificar a presença de eventos simultâneos. A Figura A9 ilustra um exemplo de um termograma da madeira de *Eucalyptus*. Observa-se que na curva DTG é mais fácil identificar e avaliar os picos e as temperaturas de máxima perda de massa. Os analisadores termogravimétricos mais modernos são capazes de registrar automaticamente a derivada das curvas de termogravimetria. (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

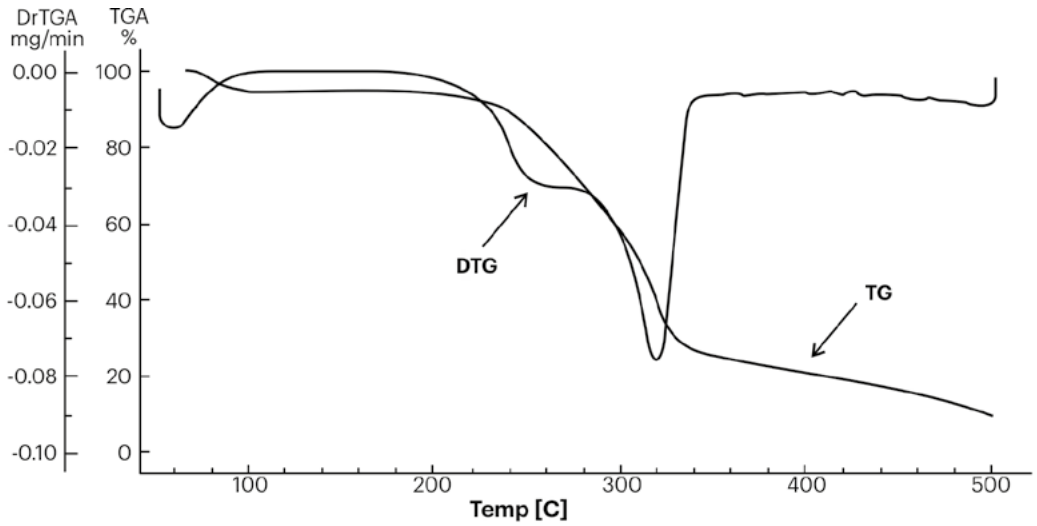


Figura A9 – Representação das curvas termogravimétricas (TGA) e termogravimetria derivada (DTG).

Calorimetria exploratória diferencial (DSC - do inglês "*Differential Scanning Calorimetry*") é uma técnica na qual se mede a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência, termicamente inerte, em função da temperatura enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura, de maneira que a amostra e a referência sejam mantidas em condições isotérmicas (IONASHIRO, 2004; MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

Quando uma amostra sofre algum tipo de mudança de estado físico ou químico, ocorre a liberação ou absorção de calor. A técnica DSC mede as variações de energia térmica para manter em equilíbrio as temperaturas da amostra e do material de referência, durante o evento térmico.

A Figura A10 ilustra as curvas de DSC para madeira de clones de *Eucalyptus* mostrando seus picos característicos.

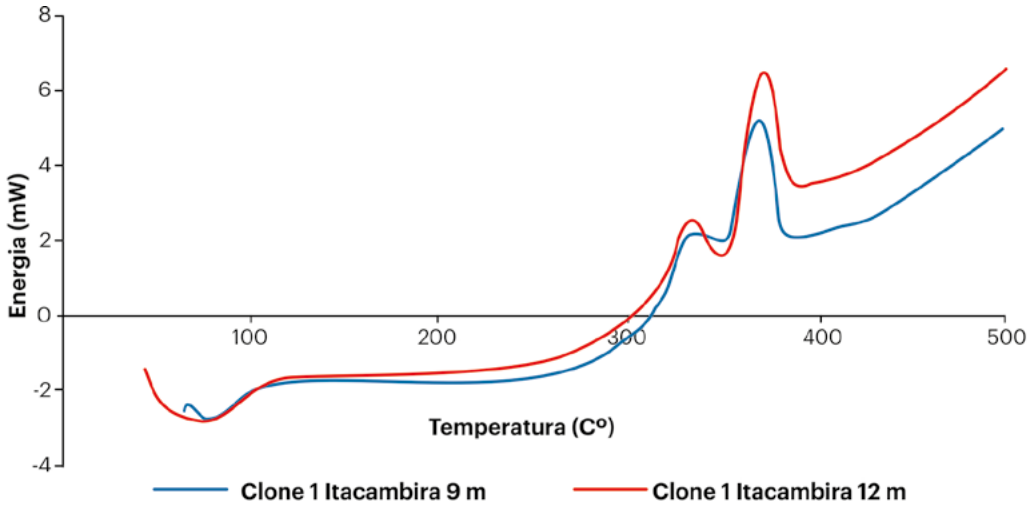


Figura A10 – Curvas de DSC para a madeira de clone de *Eucalyptus*, conduzidas em atmosfera de nitrogênio, com taxa de aquecimento de 10°C.min^{-1}.

Na Tabela A12 são apresentados os valores médios de perdas de massa de clones de *Eucalyptus* por faixas de temperatura.

Clone	Espaçamento de Plantio	Faixa de temperatura (°C)					Massa Residual
		150-250	250-300	300-350	350-400	400-500	
1	9 m²	10,29	26,02	33,74	3,91	5,33	20,70
	12 m²	8,19	25,77	32,36	3,60	5,64	24,40
2	9 m²	9,32	25,31	32,96	3,65	6,31	22,70
	12 m²	9,69	26,52	32,60	4,29	7,78	19,10
3	9 m²	9,48	26,83	32,91	3,50	7,58	19,70
	12 m²	9,41	25,64	31,84	4,14	8,91	20,10
Média		9,40	26,02	32,74	3,85	6,93	21,12

Tabela A12 - Valores médios da perda de massa (%) de clones de *Eucalyptus* em função das faixas de temperatura e massa residual, em porcentagem.

É possível observar que as maiores perdas de massa ocorrem, respectivamente nas faixas de temperatura entre 250 a 300°C e 300 a 350°C. Nesta faixa de temperatura ocorre a decomposição térmica da holocelulose, sendo o somatório de perda de massa nestas duas faixas de aproximadamente 60%. Entre 350 e 400°C e 400 e 500°C as perdas de massa são menos acentuadas, pois nestas fases ocorrem somente a degradação residual da holocelulose acompanhada de pouca degradação da molécula de lignina.

ECONOMIA

A composição da matriz energética global e nacional sofre frequentes alterações induzidas pela insegurança política nos países fornecedores de insumos, comprometimento de vários países em reduzir a emissão de gases de efeito estufa e ofertas de novas tecnologias mais eficientes são algumas das causas dessas alterações. Além disso, a oferta de energia deve expandir para atender à crescente demanda global de energia em muitas economias emergentes. Ao mesmo tempo em que ocorre a transformação de modelos de mercado e da infraestrutura de energia em expansão, a segurança energética e a confiabilidade devem ser mantidas e reforçadas num contexto de crescentes riscos e desafios (IEA, 2015).

Os principais impulsionadores do aumento na demanda de energia são o crescimento populacional mundial, de 7 bilhões atuais para 9 bilhões em 2040; uma projeção de crescimento de 150% na economia global no mesmo período de tempo; e as tendências em aumento da urbanização e mobilidade. Muitos países, especialmente na África, terão que expandir a eletrificação e acesso a um ritmo que excede o crescimento da população local para fornecer serviços modernos de energia para os cerca de 1,1 milhões de pessoas que atualmente não têm acesso a serviços energéticos modernos.

Ao mesmo tempo, o setor energético deve se adaptar aos riscos emergentes como o aumento da volatilidade dos padrões climáticos e riscos cibernéticos e novas estruturas de mercado e estruturas para integrar novas tecnologias - tudo em um contexto de crescente volatilidade dos preços.

Estas tendências, juntamente com compromissos para diminuir o impacto ambiental do setor da energia, atualmente responsável por 35% a 40% dos gases estufa, deve pressionar os sistemas geradores de energia a empregar métodos menos danosos ao meio ambiente, intensivando o uso de energias renováveis, destacando-se a energia proveniente da biomassa.

MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

A matriz energética de um país ou região poder ser definida como a demanda total de energia dividida por fonte, por sua vez a demanda total de energia é aquela necessária para movimentar a economia. No ano de 2014 a matriz energética mundial era composta por 31,1% originada do petróleo e seus derivados, 29,0% do carvão mineral, 21,5% do gás natural, 4,7% da nuclear, 2,5% da hidráulica e 11,3% de outras fontes, como biomassa sólida e liquida, eólica, solar e geotérmica. As fontes renováveis representaram 13,8% da matriz energética mundial, nas quais considerou-se a soma da “hidráulica” e de fontes renováveis contidas em “outras” (MME, 2015).

De acordo com dados da *BP Statistical Review of World Energy*, no ano de 2015, o petróleo foi a fonte de combustível dominante nos países da África e Américas, enquanto o gás natural foi mais utilizado na Europa, Eurásia e Oriente Médio. Na região da Ásia e Pacífico, o carvão foi o principal combustível. Os países do Oriente Médio utilizam basicamente o petróleo e gás natural, perfazendo 98% do seu consumo de energia, Figura A11.

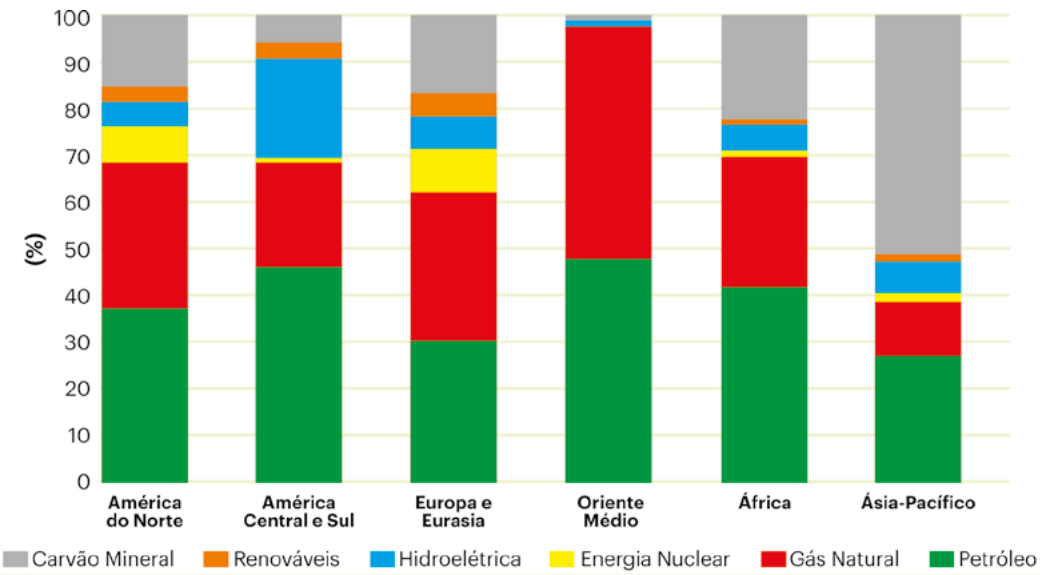


Figura A11 – Consumo de combustível por região no mundo em 2015.
Fonte: Adaptado de BP Statistical Review of World Energy (2016.)

Ainda segundo a *BP Statistical Review of World Energy*, o consumo de fontes renováveis de energia no mundo obtiveram um aumento de 2,8% em 2015, aumento considerável se comparado com o ano de 2005, no qual foi observado aumento de apenas 0,8%. Países com China e Alemanha registraram os maiores incrementos, 20,9 e 23,5%, respectivamente.

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O consumo de energia no Brasil em 2015 foi de 260,7 Mtep (Milhões de toneladas equivalentes de petróleo), apresentando queda de 1,9% em relação a 2014, sendo dividido nos diferentes setores da economia, tendo o industrial utilizado 32,5%, o de transportes 32,2%, o residencial 9,6%, o energético 10,7%, o agropecuário 4,4% e o de serviços 4,8%. Os setores de produção industrial e transportes de cargas e pessoas foram responsáveis por quase 65% do consumo total de energia do país. E a matriz energética brasileira para o ano de 2015 foi baseada no petróleo e seus derivados com 37,3%, no carvão mineral com 5,9%, no gás natural com 13,7%, na nuclear com 1,3% e em outras com 0,6%, perfazendo um total de 58,8% de fontes não renováveis. Já as fontes renováveis foram responsáveis por 41,2% da matriz, sendo estas subdivididas em hidráulica com 11,3%, produtos de cana com 16,9%, lenha e carvão vegetal com 8,2%, outros com 4,7%, Figura A12 (EPE, 2016).

Figura A12 – Oferta brasileira de energia por fonte.
Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional (EPE, 2016).

No ano de 2015, a lenha foi responsável por 8,8% da energia consumida pelo setor industrial, ademais o carvão vegetal ocupou uma parcela de 3,9% do consumo de energia neste setor, Figura A13A. De toda energia consumida pelo setor residencial, 25,4% foi advinda da lenha, em comparação com 2014, houve um aumento de 3,7% no consumo de lenha por este setor devido, principalmente, ao aumento da tarifa de energia elétrica, Figura A13B. Ressalta-se que no setor residencial, metade das famílias ainda utiliza lenha ou carvão vegetal para cocção e aquecimento, e que esse consumo está associado à disponibilidade de vegetação.

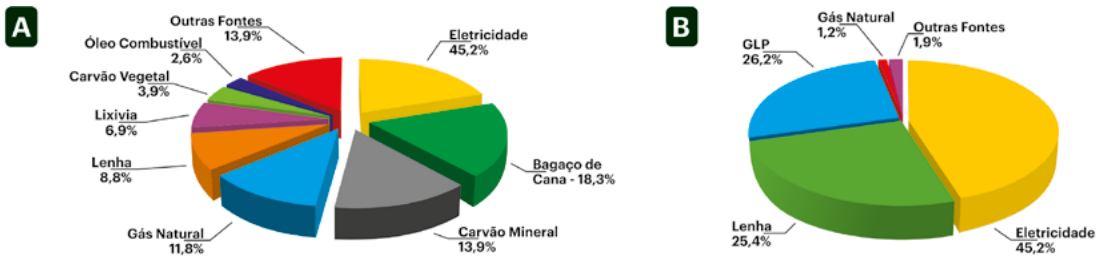


Figura A13 – Consumo de energia no setor industrial (A) e residencial (B).
Fonte: BEN, 2016.

O carvão vegetal é considerado um dos insumos mais importantes da indústria siderúrgica brasileira, tendo registrado um consumo de 4,6 milhões de toneladas em 2015, no entanto houve uma queda de 13,2% em relação a 2014. A redução do consumo pode ser justificada pela retração da atividade industrial, em especial do setor automotivo, e devido a pouca competitividade dos produtos siderúrgicos no mercado internacional. De todo o carvão consumido em 2015, 82% foi produzido de madeira proveniente de florestas plantadas (IBÁ, 2016).

A cobertura florestal do território brasileiro, associada às excelentes condições edafoclimáticas para a silvicultura, confere ao país grandes vantagens para a atividade florestal, comparado ao resto do mundo, tendo como consequência, uma boa participação no contexto da geração de energia oriunda de fontes renováveis. Vale mencionar que a produtividade das florestas de eucalipto e Pinus no Brasil é superior àquelas observadas nos demais países com tradição na exploração florestal conforme pode ser observado na Tabela A13.

Espécies	País	Idade (Anos)	Produtividade- m^3/ ha/ano
Eucalyptus spp.	Brasil	7	35 – 55
Eucalyptus spp.	África do Sul	8 – 10	20
Eucalyptus spp.	Chile	10 – 12	30
Eucalyptus spp.	Portugal	12 – 15	12
Eucalyptus spp.	Espanha	12 – 15	10
Bétula	Suécia	35 – 40	5,5
Bétula	Finlândia	35 – 40	4
CONÍFERAS			
Espécies	País	Idade (Anos)	Produtividade- m^3/ ha/ano
Pinus spp.	Brasil	15	30
Pinus radiata	Chile	25	22
Pinus radiata	Nova Zelândia	25	22
Pinus elliottii/taeda	USA	25	10
Oregon pine	Canada - costa	45	7
Picea abies	Suécia	70 - 80	4
Picea abies	Finlândia	70 - 80	3,6
Picea glauca	Canada - costa	55	2,5
Picea marina	Canada - leste	90	2

Tabela A13 - Produtividade florestal no Brasil e em outros paises. Fonte: MME/EPE (2015).

A área de florestas plantadas no Brasil em 2015 alcançou 7,8 milhões de hectares, havendo um crescimento de 0,8% em comparação com 2014. Da área total, os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares, enquanto os de pinus 1,6 milhão de hectares. Os principais estados produtores de eucalipto são Minas Gerais com 24%, São Paulo com 17% e Mato Grosso do Sul com 15%, ocorrendo nos últimos cinco anos, um crescimento da área plantada de 2,8% a.a. (IBÁ, 2016).

Observa-se na Tabela A14 que a madeira produzida no Brasil é destinada, em sua maioria, para as indústrias de celulose e papel com 38,01%, na segunda posição esta a lenha utilizada na geração de energia térmica com 26,9% e em seguida o setor de carvão vegetal com 10,9%.

Segmento	Milhões (m³)			
	Eucalipto	Pinus	Outra s	Total
Celulose e papel	65,60	8,34	0,07	74,01
Painéis reconstituídos	6,07	6,86	0,37	13,30
Indústria madeireira	6,63	23,46	0,35	30,44
Carvão	21,25	-	-	21,25
Lenha industrial	48,60	3,67	-	52,27
Madeira tratada	1,65	-	-	1,65
Outros	1,40	0,13	-	1,53
Total	151,20	42,43	0,79	194,45

Tabela A14 - Consumo de madeira para uso industrial no ano de 2015.
Fonte: IBÁ, 2016.

Quanto ao uso da biomassa para geração de energia elétrica, segundo dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), em 2015, as usinas térmicas movidas à biomassa tinham 11.000 MW de capacidade instalada, ou seja, 6% superior quando comparado à capacidade no ano de 2014. As principais fontes de biomassa empregadas em 2015 para a geração de energia estão citadas na Tabela A15, destacando-se o licor negro e os resíduos florestais, na segunda segunda e terceira posição, respectivamente.

Posição	Tipo de Fonte	MW - médios
1º	Bagaço de Cana de Açúcar	1.584,414
2º	Licor Negro	187,206
3º	Resíduos Florestais	50,478
4º	Biogás - Resíduos sólidos urbanos	31,538
5º	Capim Elefante	21,774
6º	Casca de Arroz	10,874
7º	Gás de Alto Forno - Carvão Mineral	3,037
8º	Calor de Processo - Carvão Mineral	1,650
9º	Carvão Vegetal	0,819
10º	Gás de Alto Forno – Biomassa	0,543
11º	Biogás – Agroindustriais	0,053

Tabela A15 - Principais fontes de biomassa consumidas no Brasil em 2015 para geração de energia elétrica. Fonte: (EPE, 2016)

Segundo Tolmasquim (2016), no Brasil, a bioeletricidade é obtida principalmente através da cogeração em unidades dos segmentos industriais sucroenergético e, em menor escala, de papel e celulose, tendo como fonte a lixívia. Dependendo do nível de eficiência energética destas unidades, pode haver geração excedente de bioeletricidade, passível de ser comercializada. Uma parcela ainda significativa do parque instalado, especialmente do setor sucroenergético, utiliza processos industriais e centrais de cogeração de baixa eficiência, consumindo a biomassa com o objetivo principal de atender as demandas energéticas (calor e eletricidade) da unidade, com pouco ou nenhum excedente. Entretanto, nas últimas décadas, os segmentos sucroenergético e de papel e celulose se expandiram e suas unidades vêm se modernizando. Unidades mais modernas são mais eficientes na cogeração e no uso energético pelos processos industriais, gerando maiores excedentes de bioeletricidade, que ampliam a receita. Consequentemente, a bioeletricidade passou a ter uma participação importante para complementar e diversificar a oferta de energia elétrica no Brasil. Adicionalmente, o uso da lenha de florestas, Florestas Energéticas para geração elétrica, vem aumentando e contribuindo para esta diversificação. Entretanto, o uso da lenha para geração elétrica com finalidade de comercialização, apenas recentemente tem conquistado espaço, com tendência de crescimento.

Segundo o IBÁ (2016), o Licor Negro é utilizado como combustível para cogeração no setor de papel e celulose, mas seu uso é predominantemente para autoprodução, embora o setor tenha potencial de geração de excedentes, e a partir deste está se extraíndo a lignina, a qual está sendo utilizada para diferentes usos, tais como aditivos para pellets e adesivos para madeira.

Nos três primeiros meses de 2016, as usinas térmicas brasileiras movidas à biomassa produziram 10,5% a mais de energia na comparação com mesmo período do ano passado. Os dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2016) apontam que a geração no período foi de 722,6 MW médios, ante os 654,2 MW médios em 2015.

A capacidade instalada das plantas movidas à biomassa do Sistema Interligado Nacional (SIN) também cresceu e alcançou 11,5 GW em março, alta de 9,7% em relação ao mesmo período do ano passado, quando a capacidade era de 10,5 GW.

MATRIZ ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS.

De acordo com o Balanço Energético de Minas Gerais (2015), do total da demanda energética do estado no ano de 2014, 50,5% foram provenientes de fontes renováveis de energia e o restante de fontes não renováveis, sendo que a demanda total de energia em Minas Gerais em 2014 alcançou 38,38 milhões de tep, valor equivalente a mais de 12% da demanda total de energia no Brasil.

Na Figura A14 é apresentada a evolução da demanda de energia por fontes renováveis e não renováveis, 2014.

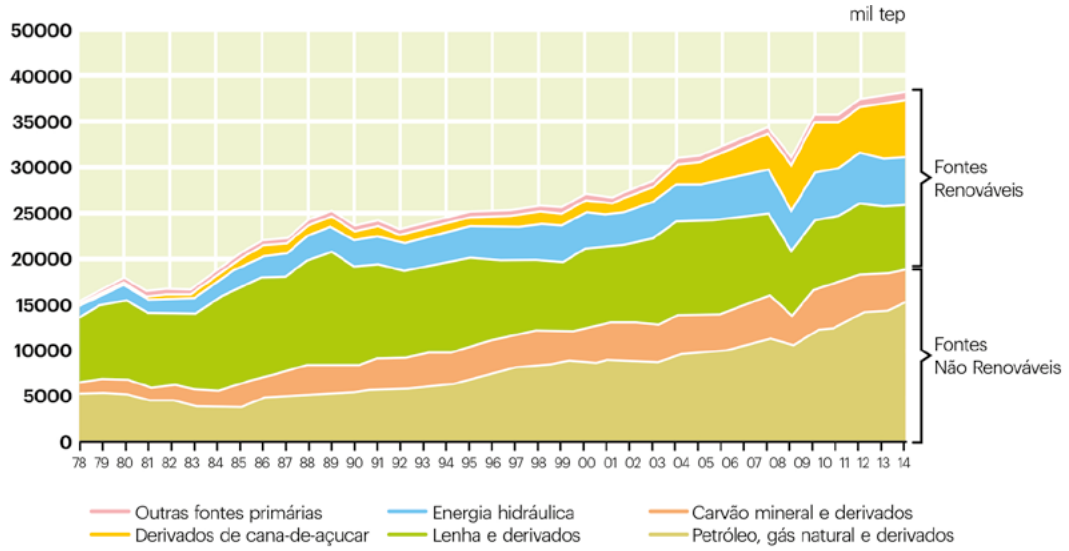


Figura A14 – Evolução da demanda de energia por fontes renováveis e não renováveis, 2014. Fonte: BEEMG, 2015.

Considerando todas as fontes, a lenha e seus derivados apresentaram relevante participação, 18,2% da demanda energética total, ocupando a segunda posição na demanda de energia no estado. Dos 6,6 milhões de tep de lenha produzidos, as unidades produtoras de carvão vegetal absorveram 79,2%. Além dos 2.618 mil tep de carvão produzidos, o estado importou de outros estados 132 mil tep, o que representa 4,8% do total distribuído. O setor industrial foi o maior responsável pelo consumo do carvão distribuído, Tabela A16.

mil tep % / Setor	Lenha e derivados	Energia hidráulica	Petróleo gás natural e derivados	Carvão mineral e derivados	Derivados de cana-de-açúcar	Biodiesel	Derivados de cana-de-açúcar	Outras fontes
Industrial	6.352	2.414	5.530	3.715	4.779	8	643	23.441
	90,7	46,9	36,2	100,0	76,6	2,3	100,0	61,1
Residencial	474	890	647	-	-	-	-	2.012
	6,8	17,3	4,2	-	-	-	-	5,2
Transportes	-	4	8.506	-	1.316	313	-	10.139
	-	0,1	55,6	-	21,1	88,2	-	26,4
Agropecuário	45	307	576	-	-	34	-	962
	0,6	6,0	3,8	-	-	9,5	-	2,5
Comercial e Público	22	901	32	-	-	-	-	954
	0,3	17,5	0,2	-	-	-	-	2,5
Perdas	109	625	-	-	145	-	-	879
	1,6	12,2	-	-	2,3	-	-	2,3
Total	7.003	5.141	15.291	3.175	6.240	355	643	38.388
	18,2	13,4	39,8	9,7	16,3	0,9	1,7	100,0

Tabela A16 - Demanda de energia por fonte e por setor em Minas Gerais, ano base 2014.
Fonte: BEEMG, 2015

Observa-se na Tabela A16 que a demanda de lenha e derivados é maior para atendimento ao setor industrial, representando 27,09% do total de energia demandada pela indústria, evidenciando a importância deste insumo energético para o estado de Minas Gerais.

Cabe mencionar, ainda, que a lenha, carvão mineral e seus derivados representaram juntos mais de 45,0% desta demanda, principalmente devido a presenças das siderurgicas integradas e não integradas no estado, sendo essas grandes consumidoras de carvão vegetal e coque de carvão mineral para produção de ferro gusa e aço. Somente as não integradas, ou seja, produtoras de ferro gusa, tiveram um consumo, neste mesmo ano, de 46,2%.

No entanto, ressalta-se que desde a crise de 2008, a siderurgia nacional e nela incluida a mineira, vem tendo perdas significativas devido a dificuldade de inserção competitiva no mercado internacional e também as crises econômicas internas e externas, acarretando um decréscimo no consumo de carvão vegetal e finos, e consequentemente reduzindo sua demanda. Somente em 2015, segundo dados da SINDIFER (2016), a redução no consumo de carvão vegetal foi de aproximadamente 13% em relação 2014 (FIGURA A15).

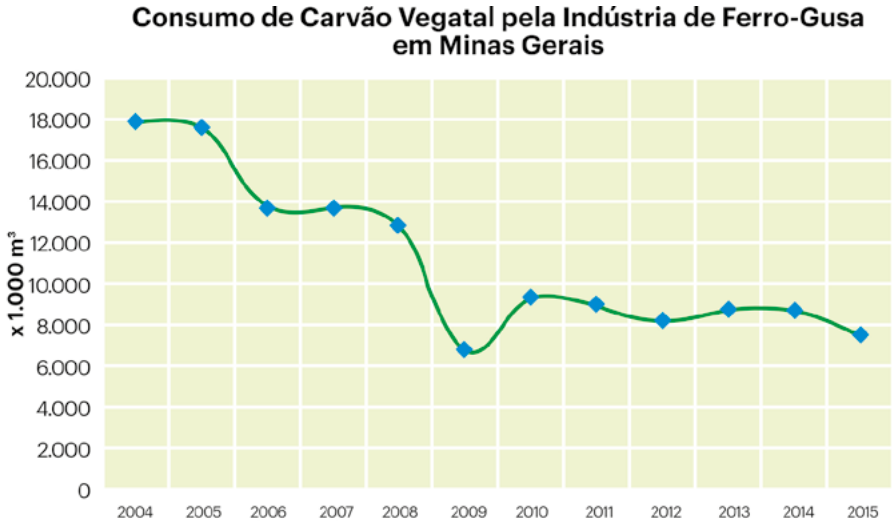


Figura A15 – Consumo de carvão vegetal para produção de ferro gusa em MG.
Fonte: SINDIFER, 2016.

Apesar da queda na demanda deste insumo devido a redução na produção de ferro gusa, os números ainda são expressivos, pois mais de 78% de toda a lenha, consumida em 2014, por exemplo, foi transformada em carvão vegetal. Segundo dados do SINDIFER (2016), mais de 7 milhões de MDC de carvão vegetal foram consumidos em Minas Gerais para produção de ferro gusa, no ano de 2015.

Na Figura A16 é apresentado o consumo de energia proveniente da madeira no estado de Minas Gerais no período de 1978 a 2014, de acordo com o Balanço Energético de Minas Gerais, 2015.

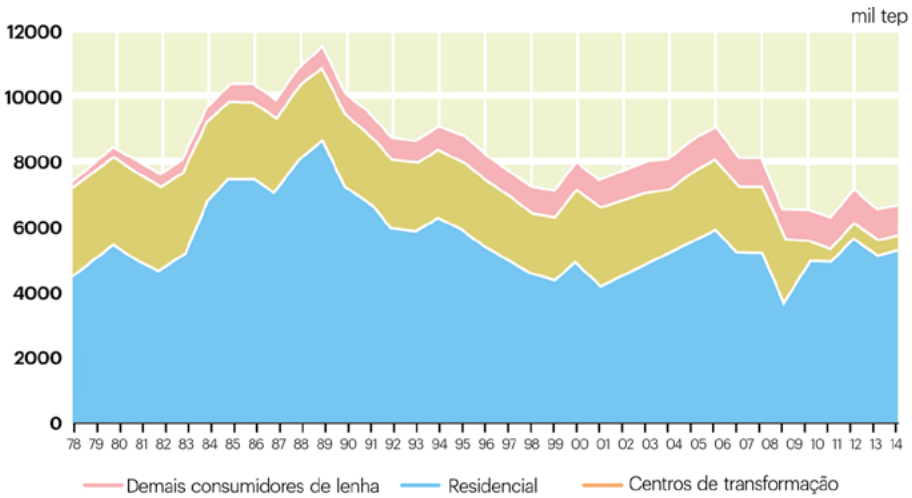


Figura A16 – Evolução no consumo de madeira para energia em Minas Gerais.
Fonte: BEEMG, 2015.

Conforme mencionado, a siderurgia a carvão vegetal é a principal demandante da madeira e consequentemente maior consumidora. Mas, vale salientar que outros setores industriais em MG têm grande consumo da madeira e derivados para energia, por exemplo, os setores cerâmicos e os de bebidas/alimentos, que em 2014, tiveram um consumo de 11,9% de sua energia proveniente desta fonte.

Na Figura A17 observa-se o balanço energético da madeira e seus derivados, em Minas Gerais em 2015, evidenciando a transformação da madeira em carvão vegetal para a siderurgia.

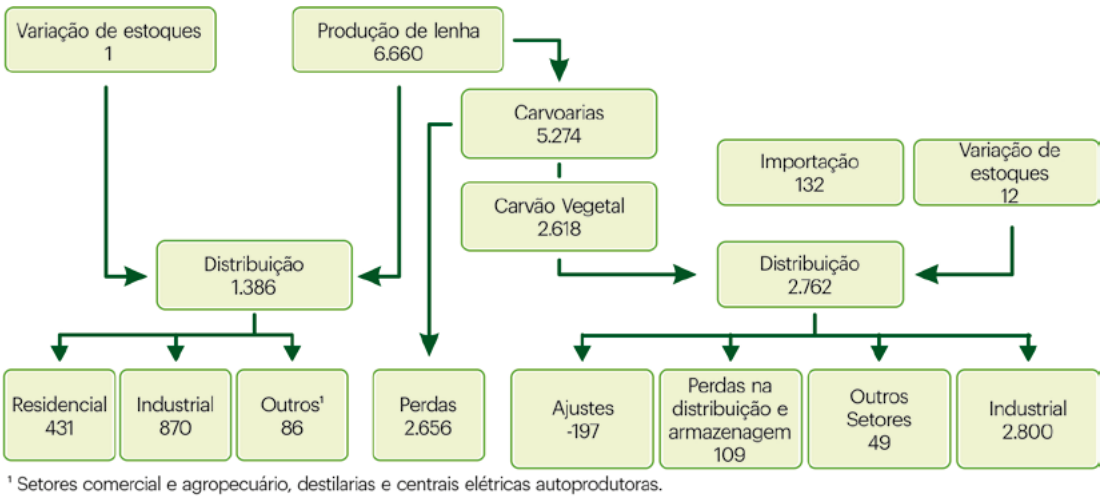


Figura A17 – Balanço energético da lenha e derivados, no ano de 2014, em Minas Gerais. Fonte: BEEMG (2015).

Para atendimento ao consumo de madeira energética em Minas Gerais, utiliza-se majoritariamente o gênero *Eucalyptus* e em menor proporção a madeira de Pinus, e isso se deve a maior produtividade e adaptação de alguns espécies deste gênero às condições edafoclimáticas locais das messoregiões do Estado.

Segundo IBÁ (2016) o setor brasileiro de florestas tornou-se, nos ultimos anos, um dos mais relevantes no cenário global, com uma área de 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas, em 2015, sendo responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país. Deste total, em torno de 5,6 milhões de hectares foram ocupados por florestas de eucalipto, tendo o estado de Minas Gerais 24% deste total (1,34 milhões de hectares), conforme ilustrado na Figura A18.

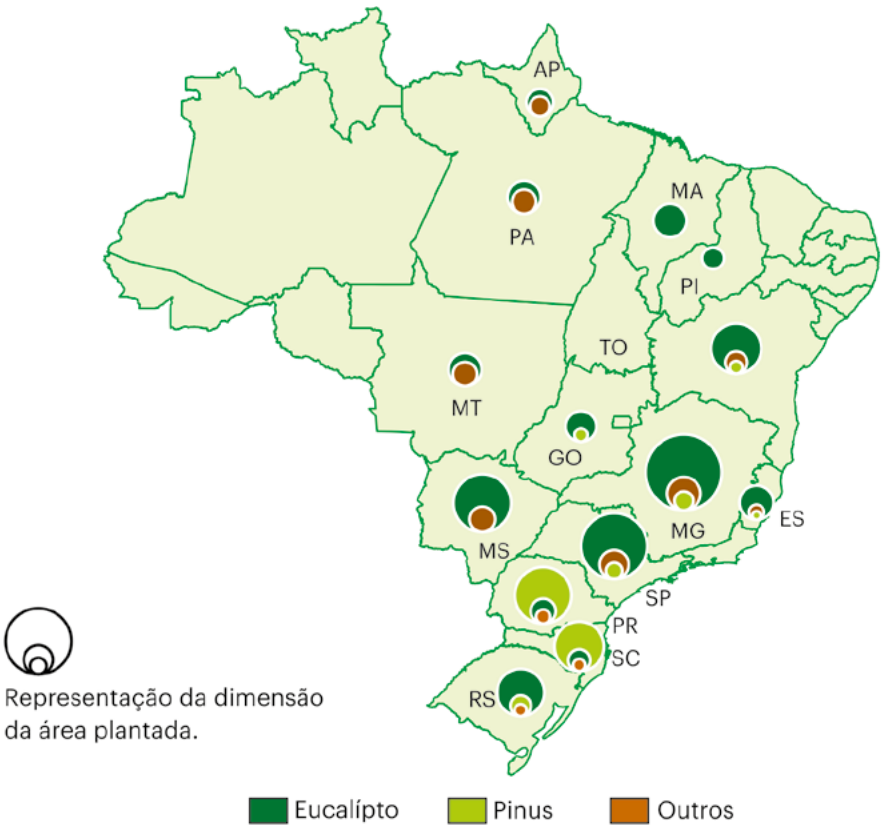


Figura A18 – Área plantada por florestas no Brasil, ano 2015. - Fonte: IBÁ (2016)

Ainda, segundo o IBÁ (2016), os plantios de pinus ocupam 1,6 milhao de hectares e concentram-se nos estados do Parana (42%) e em Santa Catarina (34%). Em Minas Gerais, tem-se apenas, aproximadanete, 37.363 ha de Pinus (2,38%). Cabe salientar que a cada ano, a área plantada com esse gênero vem caindo em todo o Brasil, devido, principalmente, a substituição por eucalipto.

A Figura A19 apresenta a produção de madeira de eucalipto no estado de Minas Gerais.

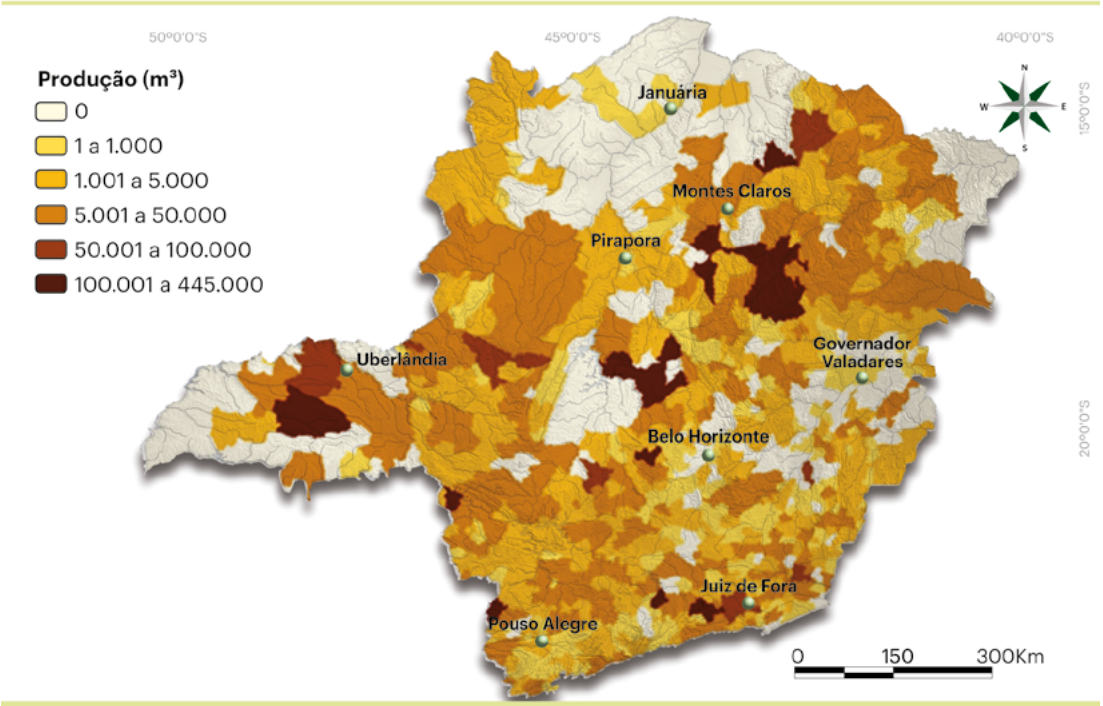


Figura A19 - Espacialização da produção de Lenha de Eucalipto no estado de Minas Gerais. - Fonte: IBGE (2014).

A Tabela A17 mostra a produção de carvão vegetal com madeira de eucalipto em Minas Gerais.

Massa de carvão vegetal de eucalipto, (t) produzido por mesorregião em MG - 2014		
Localidade	Noroeste de Minas – MG	703.535
	Norte de Minas – MG	1.468.614
	Jequitinhonha – MG	1.217.439
	Vale do Mucuri – MG	11.502
	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG	41.276
	Central Mineira – MG	968.384
	Metropolitana de Belo Horizonte - MG	276.461
	Vale do Rio Doce – MG	99.977
	Oeste de Minas – MG	115.667
	Sul/Sudoeste de Minas – MG	32.887
	Campo das Vertentes – MG	115.511
	Zona da Mata – MG	148.072

Tabela A17 - Produção de carvão vegetal com madeira de Eucalipto, em Minas Gerais (2014) por mesorregião. - Fonte: IBGE, 2014

A Tabela A18 mostra os principais muicípios produtores de carvão em Minas Gerais.

Municípios produtores e respectivas unidades da Federação	Carvão Vegetal		
	Quantidade produzida (t)	Participações (%)	
		Relativa	Acumulada
Brasil	6 219 325	100,0 0	-
Itamarandiba - MG	419 510	6,1	6,1
João Pinheiro - MG	362 439	5,7	11,9
Três Marias - MG	282 464	5,3	17,1
Buritizeiro - MG	213 833	2,9	20,1
Capelinha - MG	192 814	2,7	22,8
Bom Jardim - MA	186 830	2,6	25,4
Turmalina - MG	181 830	2,3	27,7
Itacambira - MG	171 270	2,1	29,8
Lassange - MG	165 459	1,8	31,6
Minas Novas - MG	158 541	1,8	33,4
Curvelo - MG	144 092	1,7	35,2
Açailância - MA	135 076	1,7	36,9
Rio Pardo de Minas - MG	127 252	1,7	38,7
Carbonita - MG	121 558	1,6	40,4
Olhos d´Água - MG	112 930	1,6	42,0
Ribas do Rio Pardo -MS	110 000	1,6	43,6
Lagoa Grande - MG	108 752	1,5	45,2
Morada Nova de Minas - MG	102 060	1,5	46,7
Grão Mogol - MG	88 239	1,3	48,0
Brasilândia de Minas - MG	86 356	1,3	49,3

Tabela A18 - Principais municípios produtores de carvão vegetal, proveniente de florestas plantadas. - Fonte: IBGE, 2014.

A Figura A20 mostra a espacialização da produção de carvão em Minas Gerais.

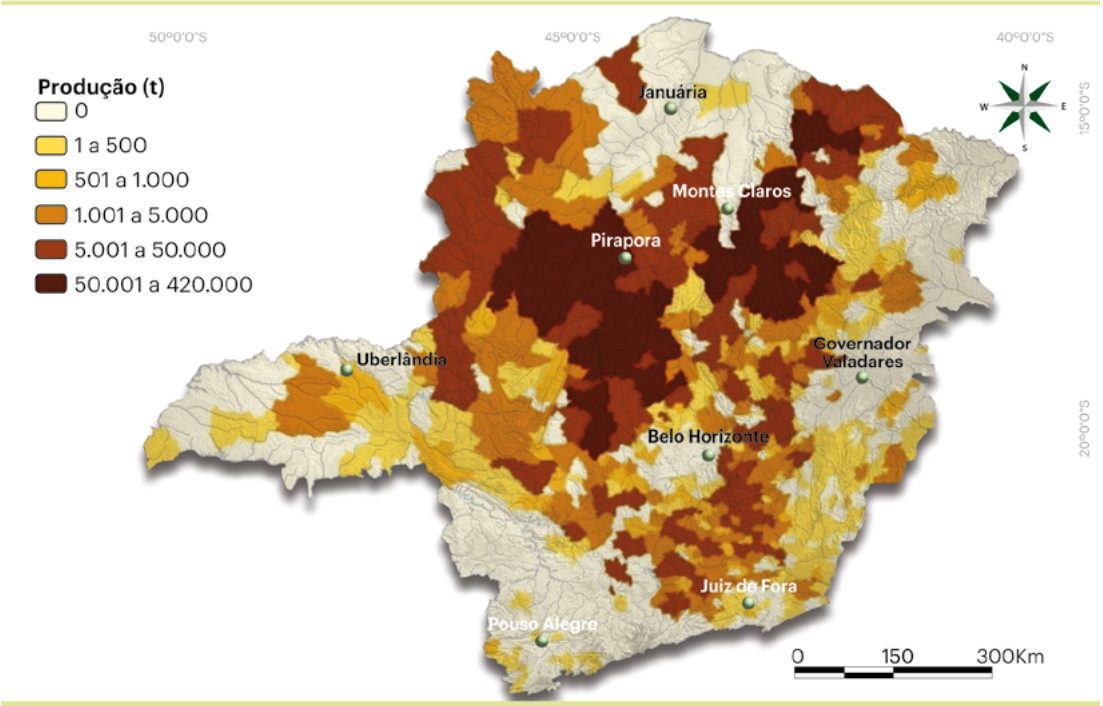


Figura A20 - Mapa de espacialização da produção de carvão vegetal com madeira de Eucalipto no estado de Minas Gerais. - Fonte: IBGE (2014).

Além do produto principal, a carbonização da madeira gera outros produtos, principalmente finos de carvão e alcatrão que também são utilizados para geração de energia térmica, conforme pode ser obsevado na Figura A21, no fluxo de entrada e saída do processo.

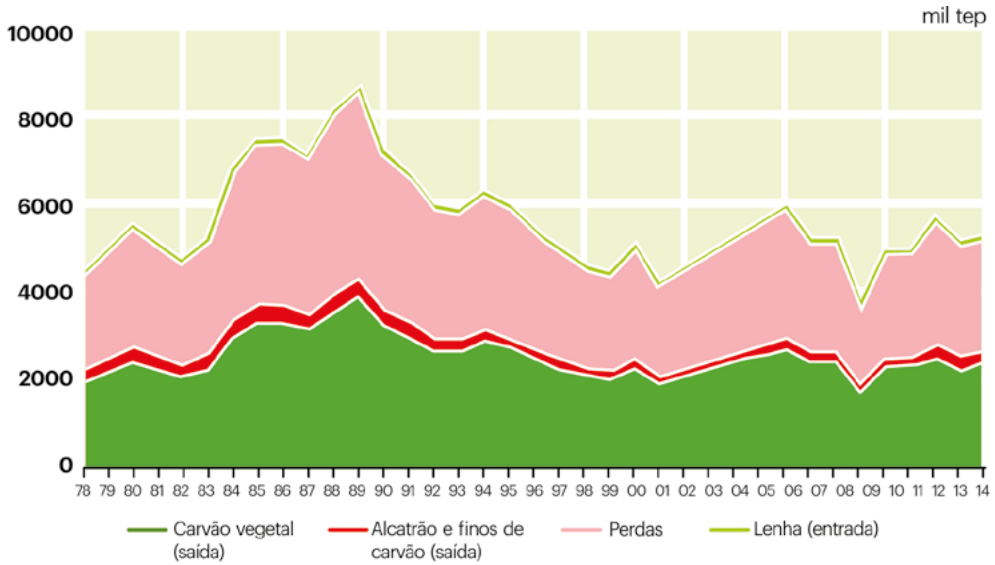


Figura A21 – Fluxo de entrada e saída do processo de carbonização da madeira, em MG. Fonte: BEEMG, 2015.

Esses co-produtos vêm se destando e ganhando espaço devido ao desenvolvimento tecnológico da produção de carvão vegetal que está ocorrendo nos últimos anos, destacando-se principalmente, o uso de queimadores de gases e recuperadores de gases condensáveis, além do uso dos finos para injeção (alto fornos) e consumo pelas cimenteiras.

CARVÃO VEGETAL

O processo de carbonização ou pirólise lenta da madeira consiste no seu aquecimento, a temperaturas acima de 200ºC e inferior a 400ºC, na presença controlada de oxigênio, promovendo modificações dos seus componentes, cujo objetivo é aumentar o teor de carbono na massa resultante do processo, o carvão vegetal. A ocorrência desse processo está intimamente relacionada à composição química dos três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina, além de sofrer influência das suas características físicas e anatômicas.

A pirólise da madeira origina os mesmos produtos que seriam obtidos por meio da pirólise separada de seus principais componentes, que ocorre de maneira simultânea, mas em etapas. O primeiro componente que se degrada são as hemiceluloses, na temperatura de 200º a 260ºC; seguida da celulose (240º a 350ºC) e da lignina, cuja degradação inicia-se a 150°C, e se mantém até 500ºC, conforme mostrado na Figura A22.

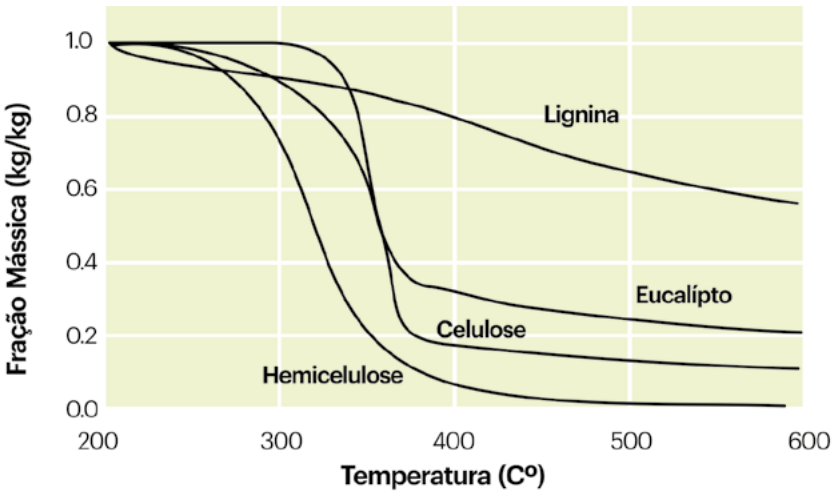


Figura A22 – Degradação térmica madeira de eucalipto e de seus componentes.
Fonte: Raad (2004).

A resistência térmica dos constituintes químicos da madeira está intimamente relacionada às suas respectivas estruturas, quanto mais complexa, mais rígida e mais condensada for a estrutura, mais estável, do ponto de vista térmico, será o componente químico correspondente (ANDRADE et al., 2004).

Durante a carbonização ocorre uma sequência de reações químicas e físicas dependentes do tempo e da temperatura, e como resultado há a liberação de vapor de água, líquidos orgânicos, gases condensáveis e não condensáveis, restando como produto final sólido o carvão vegetal. Os produtos gerados são influenciados pela composição química da madeira convertida em carvão vegetal, sendo o teor de lignina o que mais influencia o rendimento em carvão vegetal, pois, materiais orgânicos com maiores teores de compostos aromáticos conferem maiores rendimentos em carvão, afetando diretamente a cinética das reações de pirólise.

Trugilho et al. (2001) referem-se às etapas ocorrentes durante a carbonização conforme faixa de temperatura e fenômenos de reação. Segundo os autores, na primeira etapa, com faixa de temperatura entre 100º e 200ºC ocorre a secagem da madeira e a reação é, nesse momento, endotérmica. Na etapa com faixa de temperatura entre 200º e 280ºC ocorre a liberação de ácido acético, metanol, H_2O e CO_2, entre outros e a reação continua caracterizada como endotérmica. Entre 280º e 500ºC, a reação passa a ser exotérmica e ocorre liberação de gases, como CO, CH_4 e alcatrões e, sob temperaturas acima de 500º C, ocorre a liberação de pequenas quantidades de voláteis, especialmente o H_2.

Segundo Rezende (2006), o processo de carbonização da madeira ocorre em quatro fases: na primeira fase ocorre a secagem da madeira até a temperatura de 110ºC, havendo somente liberação de água. Na segunda fase, que varia de 110 a 250ºC, a 180ºC tem início a liberação da água de constituição pela decomposição da celulose e hemiceluloses e pouca massa é perdida até 250ºC. Forma-se a madeira semicarbonizada ou atiço. A terceira fase ocorre entre 250ºC e 350ºC, com a intensificação da decomposição da celulose e hemiceluloses, havendo expressiva perda de massa e formação de gases, óleo

e água. Ao atingir a temperatura de 350ºC o carvão tem aproximadamente 75% de carbono fixo e se considera que a carbonização está praticamente pronta. Na quarta fase, de 350ºC a 500°C, reduz-se gradualmente a liberação de voláteis, principalmente gases combustíveis, continuando a fixação de carbono.

De modo simples, pode-se dizer que a reação de carbonização da madeira consiste, basicamente, em concentrar carbono e expulsar oxigênio pela ação do calor, com consequente aumento do conteúdo energético do produto. Na madeira, os teores de carbono e oxigênio elementar são, em média, respectivamente, de 49% e 44%. Depois de carbonizada, esses teores passam, em média, no carvão vegetal, para 82% e 13,7%. O carvão retém 57% do carbono da madeira, enquanto 89% do oxigênio são volatilizados.

HISTÓRICO

A produção brasileira de carvão vegetal continua, mesmo com a introdução dos fornos metálicos para conversão da madeira em carvão, ocorrendo em fornos de alvenaria, devido principalmente a viabilidade econômica. Segundo Brito (2010), 60% dos fornos utilizados são do tipo "rabo-quente"; 10% são fornos de superfície; 20% da produção ocorrem em fornos retangulares e os 10% restantes são realizadas por outras tecnologias.

Abaixo são descritos os principais fornos e tecnologias utilizados para produção de carvão vegetal no Brasil.

FORNO "RABO QUENTE"

O modelo mais simples de forno de alvenaria e ainda utilizado pelos pequenos produtores é o forno denominado circular de superfície (FIGURA A23).

Figura A23 – Forno "rabo-quente". Fonte: Autores

Sua construção é recomendada para áreas planas, e na sua parede são deixados orifícios para a entrada de ar e saída dos gases gerados. Esses fornos são de baixo custo, fácil manuseio, porém apresentam baixo rendimento e alta emissão de poluentes.

O progresso da carbonização é avaliado pela coloração dos gases liberados através de orifícios, e o controle ocorre pelo fechamento progressivo das entradas de ar. O processo completo tem duração de sete dias, sendo três dias para carbonizar, três para resfriar e um dia para descarga e carregamento do forno.

O controle subjetivo da carbonização impossibilita o controle adequado da temperatura interna do forno, prejudicando a qualidade do carvão vegetal e elevando a produção de madeira semicarbonizada (atiço). O forno "rabo-quente" apresenta baixo rendimento gravimétrico, variando de 20 a 28%, devido ao excesso de queima da madeira e de suas características rudimentares (MENDES et al., 1982).

FORNO DE ENCOSTA

O forno de encosta é bastante utilizado nas regiões de topografia acidentada, com diâmetro variando de 3 a 4 m e altura entre 2,5 a 2,8 m, podendo ter de uma a três chaminés. Para sua construção aproveita-se o desnível natural do terreno, apoiando a cúpula sobre a borda do mesmo, que assume a função de parede do forno (FIGURA A24), reduzindo a quantidade de material utilizado na construção.

Figura A24 – Forno de encosta. Fonte: Autores

Os fornos de encosta atingem até 32% de rendimento em carvão vegetal, e este rendimento satisfatório ocorre porque a maior parte do forno está em contato direto com o solo, havendo menores perdas térmicas para o ambiente, o que aumenta a eficiência da carbonização. No entanto aumenta o ciclo de produção devido ao resfriamento ocorrer mais lentamente.

O controle da carbonização no forno de encosta baseia-se na quantidade e coloração dos gases emitidos pelas chaminés.

FORNO DE SUPERFÍCIE

Os fornos de superfície (FIGURA A25) apresentam estrutura semelhante à do forno "rabo-quente", tendo como inovação a presença de uma chaminé com tiragem central dos gases gerados durante a carbonização da madeira, melhorando as condições térmicas e o fluxo de gases no interior do forno.

O diâmetro central pode variar de 3 a 8 metros, sendo o de 3,5 metros o mais comum; a altura central varia de 2,3 a 5 metros. Em virtude de suas características construtivas, os fornos de superfície apresentam melhores condições para propagação da carbonização, que ocorre de maneira mais homogênea devido ao maior controle do operador.

Figura A25 – Forno de superfície. Fonte: Autores

A operação nesses fornos é mais simples, pois os gases são expelidos somente pela chaminé e o acompanhamento do processo de carbonização pode ser avaliado pela temperatura externa e inspeção visual das aberturas para entrada de oxigênio. O forno de superfície apresenta rendimento gravimétrico variável de 28 a 34%. (MENDES et al., 1982).

Diversas alterações no forno de superfície foram realizadas com o intuito de melhorar o processo de produção de carvão vegetal, modificando o posicionamento e número de entradas de ar, a dimensão e posição da chaminé e a adaptação de câmara de combustão externa ao forno.

O forno de superfície com câmara de combustão externa é um derivado do forno de superfície tradicional. A função da câmara externa é fornecer por meio da queima de materiais lignocelulósicos como lenha, cascas, galhos e atiço de outras carbonizações, o calor necessário para a transformação da madeira em carvão vegetal. O calor gerado é direcionado por ductos até o interior do forno. Não havendo queima da madeira no interior do forno e melhor aproveitamento do espaço interno, o sistema apresenta maior rendimento gravimétrico.

O forno JG® (FIGURA A26) é uma variação do forno de superfície, desenvolvido pelo engenheiro florestal José Gonçalves Bastos Filho. Construído com tijolos de barro cozido, possui uma chaminé, e uma cinta metálica é colocada externamente à parede, para elevar a durabilidade do forno. Dependendo do projeto, pode ter uma ou duas portas, para o carregamento e descarregamento manual. Atualmente, esses fornos estão sendo confeccionados com portas de maiores dimensões para mecanizar parcilmente as atividades de carregamento e descarregamento.

Atualmente é o forno mais difundido entre os pequenos e médios produtores de carvão vegetal, devido ao seu elevado rendimento gravimétrico, à vida útil razoável e ao custo acessível, se comparado ao dos demais fornos de menor capacidade volumétrica. Os fornos JG® são geralmente construídos com diâmetro médio de 3 a 5 m e altura central de 2,3 m.

Figura A26 – Forno JG®. Fonte: Bastos Filho (2007)

FORNO MF1-UFV

O forno MF1-UFV foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a empresa ArcellorMittal BioFlorestas. Trata-se de um forno em formato retangular com capacidade para carbonizar 10 st de madeira, acoplado a uma fornalha para combustão de gases gerados durante a o processo de carbonização, (FIGURA A27).

Figura A27 – Vista geral do Forno MF1-UFV. Fonte: Autores

A entrada de ar no forno ocorre através de quatro aberturas de cada lado, e o controle da carbonização é realizado a partir da temperatura obtida por termopares instalados na cúpula do forno.

O forno MF1-UFV apresenta rendimento gravimétrico médio de 29-30% e teores de atiço e finos de carvão vegetal inferiores a 4% (Cardoso, 2010). A queima dos gases combustos pela fornalha reduz a emissão de metano (CH_4) e de monóxido de carbono (CO) para a atmosfera em 94 e 97%, respectivamente, durante a carbonização da madeira.

O ciclo de carbonização da madeira no forno MF1-UFV tem duração média de cinco dias, incluindo o carregamento, a carbonização, o resfriamento e a descarga.

FORNO CIRCULAR COM QUEIMADOR

Em uma parceria envolvendo a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Associação das Siderúrgicas para Fomento Florestal (ASIFLOR) e a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG/SECTES/POLO DE FLORESTA), foi acoplado a fornos circulares de superfície ductos para condução de gases e fornalha para queima dos mesmos.

Cada forno tem capacidade de enfornamento de 12st (9m³) de madeira e estão conectados a uma fornalha de alvenaria onde é realizada a combustão dos gases gerados durante a carbonização da madeira. A chaminé, com 2,90 metros de altura, foi construída sobre a fornalha. Para auxiliar na manutenção do calor dentro do forno e eliminar possíveis entradas de ar, os fornos, fornalha e chaminé foram emboçados com uma mistura de argamassa refratária e areia lavada. Utilizou-se também uma cinta metálica e barra de ferro rosqueada na base da cúpula para proporcionar maior durabilidade aos fornos, evitando a expansão das paredes dos fornos, ocasionada pela pressão exercida pelos gases gerados durante a carbonização. Na Figura A28, apresenta-se o forno circular acoplado a fornalha e chaminé.

Figura A28 – Forno circular com queimador. Fonte: Autores

O ciclo completo de carbonização, considerando tempo de enchimento, transformação da madeira em carvão, resfriamento e descarga do forno é de aproximadamente seis dias, sendo que a carbonização tem duração média de 3 dias.

A combustão dos gases ocorre durante um terço do tempo total de carbonização, reduzindo quase que integralmente os gases de efeito estufa, principalmente metano (CH_4) e óxido de carbono (CO). Esta tem sido a alternativa mais interessante para aproveitamento dos gases gerados na carbonização, proporcionando, ao mesmo tempo, a melhoria do ambiente de trabalho e a obtenção de energia térmica para sua utilização na secagem de lenha ou mesmo para a produção de energia elétrica.

O rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal neste sistema é de 32% de carvão vegetal, com o carvão apresentando características adequadas para uso industrial e doméstico.

FORNO RETANGULAR

Visando aumentar a produtividade e obter um produto com maior qualidade, os grandes produtores de carvão vegetal investiram na construção de fornos com grande capacidade volumétrica (FIGURA A29). Os fornos retangulares têm capacidade de enfornamento de até 500 m^3 de madeira e as operações de carregamento e descarregamento são mecanizadas. O controle da carbonização é realizado através de pirômetros e sistemas supervisórios, além de automação do controle de admissão de ar para dentro do forno para efetuar o controle da temperatura interna do mesmo.

Nesse tipo de forno o controle da carbonização pode ser realizado através de abertura de controle da entrada de ar ("tatu") ou câmara de combustão externa, construídas em alvenaria na parte externa do forno, que são interligadas através de canais, onde os gases aquecidos circulam, promovendo a transformação da madeira em carvão vegetal.

Figura A29a – Forno retangular. Fonte: Autores

Figura A29b – Forno retangular RAC 700 – Empresa APERAM. Fonte: Autores

O ciclo completo de carbonização nos fornos retangulares tem duração média de 13 dias, incluindo as etapas de carregamento, ignição, carbonização, resfriamento do leito de carvão e descarga, sendo normalmente quatro dias para carbonizar a madeira e oito dias para o resfriamento do forno e um dia para carregamento e descarregamento do forno. O rendimento gravimétrico em carvão vegetal desses fornos varia de 30 a 35%. Atualmente, estão sendo desenvolvidos queimadores de gases da carbonização para redução de emissões e aproveitamento de energia térmica para secagem da madeira.

AVANÇOS TECNOLÓGICOS

A necessidade de agregar valor ao carvão vegetal para torná-lo competitivo com outras fontes de energia, vem motivando o meio cientifico e as empresas florestais a buscarem alternativas no sistema de produção por meio de inovações tecnológicas a fim de obterem uma maior produtividade, homogeneidade e qualidade do carvão vegetal, além da melhoria das condições de trabalho nas praças de carbonização.

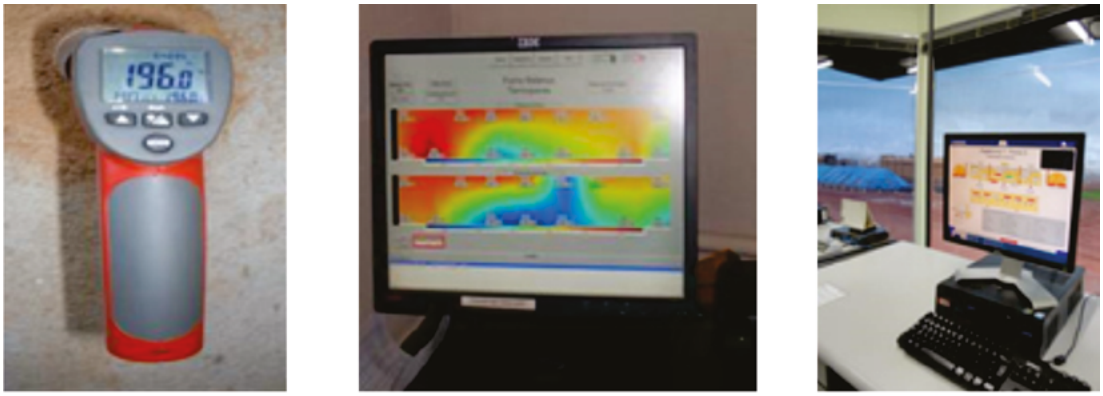
CONTROLE DA CARBONIZAÇÃO

Apesar da evolução nas dimensões e nos materiais construtivos, o controle da carbonização dos fornos, na maioria das vezes, ainda é realizada de forma precária, baseando-se no empirismo, tais como: coloração da fumaça, temperaturas externas das paredes do forno e observação da aparência dos controladores de ar. No entanto, para reduzir esse empirismo algumas ferramentas estão sendo utilizadas para auxiliar o carbonizador no controle da carbonização.

A utilização de sensores infravermelhos portáteis, termovisores e sistemas supervisórios para mensuração da temperatura interna do forno contribuem para o melhor controle da carbonização e consequentemente aumento da produção e qualidade do carvão vegetal.

Em fornos para produção de carvão vegetal o sistema supervisório consiste em sensores térmicos posicionados nas paredes e na cúpula, conectados a uma placa-mãe responsável por emitir os valores de temperatura mensurados. As temperaturas são armazenadas em um sistema eletrônico e, via software, são visualizados gráficos cujas informações podem auxiliar no controle da produção de carvão durante a carbonização e resfriamento (OLIVEIRA, 2009). A utilização do sistema supervisório auxilia na identificação e correção de desvios no processo de carbonização em tempo real, diminuindo as falhas operacionais, proporcionando o aumento da produtividade e diminuição da heterogeneidade do carvão.

O monitoramento da temperatura interna do forno, seja através de termopares ou da leitura de temperatura utilizando um sensor infravermelho (FIGURA A30), permite o acompanhamento térmico da carbonização, evitando elevações indesejáveis de temperatura. O controle da carbonização por meio de sensores portáteis de infravermelho tem sido mais utilizado devido ao seu menor custo em relação ao sistema supervisório. Neste caso, necessita-se da adaptação de cilindros metálicos nas paredes do forno, de forma a permitir a comunicação entre a parte interna do forno e o meio externo. No entanto, ressalta-se que as grandes industrias produtoras de carvão estão utilizando os sistemas supervisórios, atualmente, devido aos custos terem reduzidos, além dos avanços obtidos na automação da admissão de ar para o forno.



(a) (b) (c)

Figura A30 – (a) sensor infravermelho de temperatura, (b) perfil térmico de forno retangular em carbonização e (c) Tela do sistema supervisório. Fonte: Autores

FORNALHAS PARA QUEIMA DE GASES DA CARBONIZAÇÃO

Os gases gerados durante o processo de carbonização são substâncias combustíveis ricas em carbono e hidrogênio, que sob condições adequadas de temperatura e pressão são capazes de sofrer reações químicas na presença de oxigênio, liberando energia sob a forma de luz e calor. Na carbonização da madeira são gerados gases não condensáveis, sendo os principais CO, CO_2, H_2 e CH_4. No caso de queima completa desses gases, as emissões seriam constituídas apenas de CO_2 e vapor de água.

Com o objetivo de diminuir as emissões de gases gerados durante a carbonização para a atmosfera, tem sido realizada a combustão desses em queimadores de gases ou fornalhas. Queimadores ou fornalhas são dispositivos projetados visando à maior eficiência da combustão e possibilidade de aproveitamento da energia térmica liberada durante o processo de combustão (MAGALHÃES, 2007).

Estes dispositivos são projetados para assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, visando o aproveitamento de sua energia térmica liberada da combustão, com o maior rendimento térmico possível.

Os queimadores acoplados a fornos de carbonização têm o objetivo de incinerar os gases gerados durante o processo, transformando a poluição em energia na forma de calor. Estes equipamentos conferem as unidades de produção de carvão vegetal um aspecto limpo e contribuem para o processo de carbonização, auxiliando na tiragem de gases do interior do forno para a fornalha em função da pressão negativa gerada no sistema pela chaminé do queimador, conforme observado na Figura A31 e na Figura A32a, b e c.

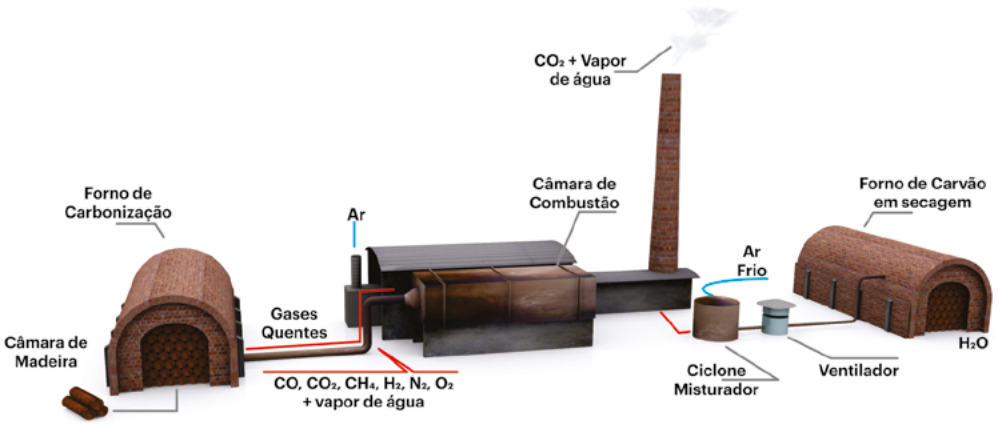


Figura A31 – Sistema de carbonização da madeira com aproveitamento dos gases.
Fonte: Latorre, 2008.

Figura A32a – queimador acoplado a dois fornos retangulares da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. - Fonte: Autores

Figura A32b – queimador acoplado a 16 fornos retangulares da empresa APERAM. Fonte: Autores

Figura A32c – queimador acoplado a 24 fornos retangulares da empresa Guaxupé-MG.
Fonte: Fazenda Guaxupé, 2014.

Cabe salientar que durante as primeiras horas de carbonização, ocorre maior liberação de vapor de água e CO_2 sendo necessário um sincronismo dos fornos para se evitar a queima de resíduos lignocelulósicos no queimador para fornecimento de energia para a combustão destes gases.

Com o progresso da carbonização, a emissão de vapor de água torna-se mínima e eleva-se as concentrações CO e CH_4, gerados, portanto, gases inflamáveis e de elevado poder calorífico, passam a exercer a função de combustível para a combustão no interior da fornalha. Com a queima da fumaça, são obtidas temperaturas no interior do queimador que variam de 650 a 1150ºC, sendo essa faixa suficiente para promover a destruição térmica do alcatrão, do licor Pirolenhoso, dos fenóis e também dos gases CO (monóxido de carbono) e CH_4 (metano), transformando-os em CO_2 e H_2O.

A combustão destes gases gera um adicional de calor suficiente que pode ser aproveitado na geração de energia elétrica, acoplando-se à saída da chaminé uma caldeira, por exemplo, para transformação da água em vapor, e este, direcionado a uma turbina ligada a um gerador de eletricidade.

Pode-se também direcionar o calor para a secagem da madeira a ser utilizada na produção de carvão vegetal, reduzindo a umidade da madeira enfornada, normalmente variando de 40 a 50% para valores próximos a 22%, tendo como conseqüência um aumento do rendimento gravimétrico em função da redução da fase endotérmica do processo, além de diminuir o tempo total de carbonização, elevando a produtividade da unidade de produção de carvão vegetal.

Nas Figuras A33a e b são apresentadas duas principais formas de distribuição de calor para secagem da madeira. Na Figura A33a observa-se a distribuição direta do gás quente proveniente do queimador através de tubos perfurados e na Figura A33b verifica-se uma estufa para secagem de madeira roliça utilizando os gases combustos do queimador.

Figura A33 – (a) utilização de gás proveniente de queimador para secagem da madeira através de tubos perfurados, (b) estufa para secagem de madeira. - Fonte: G6

RESFRIAMENTO ARTIFICIAL

O resfriamento dos fornos, qualquer que seja o tipo, normalmente ocorre em maior tempo que a carbonização da madeira, sendo grande responsável pela baixa produtividade dos fornos. O resfriamento dos fornos pode ser realizado de forma natural e ou artificial.

O resfriamento natural consiste no simples processo de troca de calor do carvão com o forno e do forno com o ambiente. O processo de resfriamento natural demora cerca de 8 dias para ocorrer em fornos retangulares industriais e em média 4 dias em fornos de pequeno porte, ocasionando perda de produtividade da planta. Ganhos no tempo de resfriamento dos fornos tornarão as unidades de produção de carvão muito mais compactas, facilitando o gerenciamento além de se reduzir o investimento inicial.

Atualmente o método mais empregado para se acelerar o resfriamento dos fornos é aplicar uma mistura de água e argila nos fornos no que é popularmente conhecido como "barrela". É uma prática comum, porém pouco tecnificada que implica em ganho muito pequeno no resfriamento. A Figura A34 mostra a prática de aplicação da barrela nos fornos.

Figura A34 – Vedação para resfriamento natural – Aplicação da "barrela". Fonte: G6

Outra maneira para se reduzir o tempo de resfriamento dos fornos é através do uso de trocadores de calor, ou seja, um resfriamento artificial. Um trocador de calor é um equipamento onde ocorre uma troca térmica entre dois fluidos, normalmente separados por uma parede. Há diversos tipos construtivos, dentre os quais, um dos mais usados industrialmente é o de feixe tubular, constituído por um conjunto de tubos envolto por um casco. Um dos fluidos circula no interior dos tubos e o outro fluido escoa no lado externo.

Existem diversos tipos de trocadores no mercado, gás/ar, gás/água, dentre outros. Algumas pesquisas envolvendo trocadores tipo gás/água já foram realizadas, e se mostraram bastante eficientes para redução do tempo de resfriamento dos fornos, no entanto devido a algumas restrições ao uso da água, bem como a sua disponibilidade em algumas regiões, hoje as pesquisas estão voltadas para os trocadores do tipo gás/ar. A exemplo, tem-se a empresa ArcelorMittal BioFlorestas que vem utilizando com sucesso trocadores de calor tipo gás/ar alcançando uma redução de até 4 dias no tempo total de resfriamento. Na Figura A35 observa-se o trocador de calor gás/ar utilizado no resfriamento artificial dos fornos.

Figura A35 – Trocador de calor gás/ar da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. Fonte: G6

OUTRAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO

Além dos fornos de alvenaria, hoje se busca a otimização do processo de conversão da madeira em carvão vegetal, utilizando fornos metálicos, dentre os quais destacam o Sistema DPC, os fornos container (UFV, Empresa Rima e Bricarbras), Ondatec, Carbonex e os Fornos contínuos (Carboval).

O sistema *Dry-Pirolysis-Carbonization* (DPC) é constituído de um sistema integrado em que a madeira passa pelos processos de secagem, carbonização e resfriamento (FIGURA A36). O princípio da DPC é a utilização dos gases emitidos, condensáveis e não condensáveis, como uma fonte da energia necessária ao processo de carbonização. As funções de secagem da madeira, carbonização e resfriamento do carvão vegetal se processam simultânea e independentemente em no mínimo três reatores. Os gases emitidos durante a pirólise, com um alto poder calorífico, são queimados em uma câmara de combustão, onde geram gases quentes, que são transportados para o reator no qual se processa a secagem da madeira. Este sistema também possibilita mecanização em toda a cadeia de produção, deste a colheita da madeira até a descarga do carvão vegetal (DPC, 2016).

Figura A36 – Esquema de um sistema DPC- Fonte: DPC, 2016.

Nas retortas verticais (fornos contínuos), a carbonização utiliza os gases quentes provenientes da queima de parte dos gases gerados durante a pirólise. O carregamento da madeira ocorre pelo topo do forno e a descarga do carvão pela parte inferior, resfriado pelo gás combusto, pela base (FIGURA A37). Capacidade de 2.000 a 10.000 t/ano. Esse processo atualmente encontra-se em desenvolvimento, desde 2007, pela V&M (Carboval).

Figura A37 – Carboval, Empresa Vallourec, 2016.

O processo de carbonização container, tipo FCR (Rima), por exemplo, consiste na execução simultânea de quatro operações fundamentais: secagem da lenha, carbonização, resfriamento, descarregamento/carregamento (FIGURA A38). O FCR consiste em um cilindro metálico, com dimensões de altura e diâmetro definidas a partir de estudos e simulações fluidodinâmicas, que proporcionam um escoamento e difusividade de gases com homogeneidade adequada, de forma a se conciliar máximo rendimento gravimétrico, qualidade e produtividade. Salienta-se que os gases combustíveis gerados durante a carbonização são succionados por exaustores externos ao container e direcionados para uma fornalha onde são queimados. A combustão dos gases elimina a emissão de metano, contribuindo para a geração de créditos de carbono, e ainda possibilitando ou capacitando o projeto a utilizar ou aproveitar esta energia em um segundo processo, seja na cogeração de energia, geração de vapor, secagem da lenha, ou qualquer outro processo térmico, metalúrgico e/ou endotérmico. O resfriamento do carvão ocorre imediatamente após a carbonização, pela manutenção do forno container carregado de carvão, em um tanque que possui uma lâmina d'água, fazendo um selo hídrico, a fim de se evitar a entrada de oxigênio e como consequência o prosseguimento da carbonização pela reação de fixação do carbono (VILELA, 2014).

Figura A38 – Forno Container, Empresa Rima. Fonte: CGEE, 2014.

A tecnologia de carbonização de madeira denominada Ondatec vem sendo desenvolvida ao longo dos ultimos dez anos e, de forma sintética, consiste em um forno horizontal metálico, equipado com esteira rolante e que utiliza micro-ondas como fonte de energia proveniente de sistema magnentron dispostos em diversas unidades distribuídas ao longo do topo do forno (FIGURA A39). Toda a unidade e controlada por sistema supervisorio, equipada com programa de monitoramento e simulação do processo de carbonização (CGEE, 2014).

Figura A39 – Unidade Ondatec, Fonte: CGEE, 2014.

CARACTERIZAÇÃO

No Brasil o carvão vegetal destina-se quase que exclusivamente ao setor siderúrgico, para redução do minério de ferro e produção de ferro-gusa, aço e ferro-liga. Um percentual menor é destinado à indústria cimenteira e ceramista, ao uso comercial em churrascarias e padarias, além do uso residencial para cocção de alimentos e aquecimento.

A qualidade do carvão vegetal é influenciada pelas propriedades da madeira e pela tecnologia empregada no processo de carbonização, o que torna o carvão um produto com características bastante variáveis, devendo, portanto, considerar as diferentes propriedades e suas variações nas diversas utilizações. No entanto, algumas propriedades, como carbono fixo, densidade e resistência são essenciais para o uso siderúrgico. Na Tabela A19 são apresentadas as propriedades físicas, químicas e mecânicas do carvão desejáveis para a utilização do setor siderúrgico.

Propriedades	Unidade	Carvão Vegetal	Coque	Carvão Vegetal: Preferencial
Carbono Fixo	%	70 - 80	~88	75 - 80
Materiais Voláteis	%	25 - 35	~1	Máx. 25
Umidade	%	1 - 6	1 – 2	Máx. 4
Cinzas	%	0,5 - 4	10 – 12	Máx. 1
Enxofre	%	0,03 - 0,1	0,45 – 0,7	Máx. 0,03
Resistência a Compressão	Kg/cm2	10 - 80	130 - 160	Min. 30
Faixa Granulométrica	mm	9 - 100	25 – 75	40 - 50
Densidade	Kg/m3	180 - 350	550	Min. 250

Tabela A19 - Propriedades do carvão vegetal e coque para utilização em siderúrgica.
Fonte: Santos, 2008

O carvão é composto por três frações distintas: materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. Os materiais voláteis consistem na matéria volátil residual do carvão, que é composta, principalmente, de hidrogênio, hidrocarbonetos, CO e CO_2. O teor de cinzas refere-se ao resíduo de óxidos minerais obtido pela combustão completa do carvão e o teor de carbono fixo consiste no carbono responsável pela formação da massa amorfa. O carbono fixo é um dos mais importantes indicadores de qualidade do carvão vegetal como termorredutor na siderurgia.

Maiores teores de materiais voláteis significam menores teores de carbono fixo, comprometendo a eficiência do carvão vegetal no alto-forno. Porém, de acordo com Santos (2008), essa característica determina a estabilidade da chama e a velocidade de combustão ao promover o aumento da permeabilidade da carga no alto-forno e a diminuição da reatividade do carvão vegetal. Geralmente, o carvão vegetal apresenta sempre baixo teor de cinzas quando comparado com o coque mineral. A presença de cinzas no carvão vegetal deve ser a mínima possível, pois além de reduzir o seu poder calorífico, causa desgaste no alto-forno e pode comprometer a qualidade do ferro-gusa, com consequentes formações de trincas e fissuras.

Maiores teores de carbono fixo contribuem para o aumento na produtividade dos altos-fornos para o mesmo consumo de carvão vegetal. Contudo, elevados teores de carbono fixo estão relacionados à maior degradação térmica e à consequente redução do rendimento em carvão vegetal, além da diminuição da resistência mecânica do carvão vegetal, importante característica na produção do ferro-gusa. Os teores de carbono fixo no carvão são sensivelmente influenciados pela temperatura final e taxa de aquecimento do sistema de conversão.

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de calor liberada na combustão completa de uma unidade de massa de carvão vegetal, expressa em kcal/kg. Para o carvão vegetal, o valor, geralmente, apresenta-se superior a 7000 kcal/kg, sendo influenciado diretamente pelo teor de C e H presente no mesmo.

A densidade é uma propriedade bastante importante, pois determina o volume ocupado pelo termorredutor nos fornos de redução, combustores e sistemas de gaseifi-

cação. Quanto mais elevada a densidade do carvão vegetal, maior será a utilização do volume do alto-forno e maior o tempo de residência da carga metálica no equipamento, além de maior capacidade de carga em termos de carbono por volume.

A densidade varia em função da madeira que lhe deu origem, das variáveis do processo de carbonização como a temperatura e taxa de aquecimento. Durante a carbonização da madeira, devido à degradação térmica de seus principais componentes, perde-se em média 65% de massa. Logo, quanto maior for a densidade da madeira, haverá mais massa de madeira e, consequentemente, maior será a massa restante presente no carvão vegetal.

A umidade de equilíbrio higroscópico do carvão vai depender, basicamente, da temperatura em que foi obtido e da umidade do ambiente ao qual está exposto. Conforme as especificações do setor siderúrgico que utiliza o carvão vegetal como termorredutor, a variação da umidade do carvão deve ir de 1 a 6%, sendo 4% o valor médio referencial.

A porosidade é definida como a quantidade de poros presente no carvão. Durante a carbonização da madeira, ocorre a degradação dos componentes da parede celular e consequentemente, o volume ocupado pelo carvão vegetal num forno, por exemplo, é expressivamente menor que o volume de madeira enfornada. Tal fato caracteriza a contração do material carbonizado e do diâmetro dos poros e considerando uma mesma área, respectivamente, de madeira e carvão vegetal, a freqüência de poros no carvão vegetal é superior à da madeira. Ainda que no carvão vegetal os poros apresentem tamanhos menores que na madeira, a alta freqüência de poros por mm² contribui para a alta porosidade que o carvão vegetal apresenta, em média, 75%.

A resistência mecânica do carvão é de máxima importância, devido às numerosas operações de manuseio e transporte que o produto sofre durante seu trajeto dos fornos de carbonização até os altos-fornos, bem como a resistência dos mesmos requerida dentro dos altos-fornos, pois com os choques térmicos que ocorrem durante os processos metalúrgicos, ao se utilizar carvões de baixa resistência, umidade elevada e alto teor de voláteis tendem a gerar finos com mais facilidade acarretando problemas de permeabilidade da carga. Um carvão que apresenta uma maior resistência à compressão deverá apresentar também uma menor degradação durante a sua utilização em um reator.

A friabilidade é a propriedade do carvão vegetal relacionada à susceptibilidade do produto em formar finos, quando submetido à abrasão e choques mecânicos. Está relacionada com a umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira a ser carbonizada. Normalmente, teores altos de umidade estão associados a altas velocidades de expansão de gases durante a carbonização, o que provoca rupturas generalizadas na estrutura do carvão resultante, aumentando sua friabilidade. Grandes diâmetros na madeira a ser carbonizada também tendem a gerar carvões mais quebradiços.

ECONOMIA

Em 2015, a área ocupada por florestas plantadas no Brasil totalizou 7,8 milhões de hectares, dos quais 5,6 e 1,6 milhões de hectares são plantios de *Eucalyptus* e Pinus, respectivamente. O segmento de celulose e papel concentra 34% da produção madeireira total do País, seguido pelos segmentos de siderúrgia a carvão vegetal (14%), painéis de madeira industrializada (6%), produtos sólidos de madeira (4%) e o restante ocupado por

investidores, produtores independentes (fomentados) e outros usos da madeira. Os principais plantios de eucaliptos estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em Sao Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). E os plantios de Pinus, principalmente, nos estados do Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) (IBÁ, 2016).

O Brasil é o único país que produz carvão vegetal em larga escala para ser utilizado na indústria, destacando-se, então, como maior produtor e consumidor de carvão vegetal. Segundo AMS (2015), no ano de 2014 foram produzidos 25.680 milhões de MDC de carvão vegetal, sendo Minas Gerais o principal estado produtor e consumidor de carvão vegetal (82,6%).

Os principais destinos são os setores de ferro-gusa e aço, que consomem 84,4% do carvão vegetal produzido, e de ferroliga, que utiliza 11,6%, ferro nodular (1,8%), seguido do residencial (cocção e aquecimento residencial), do industrial (excluindo-se a siderurgia) (2,2%), com destaque para a produção de cimentos, indústria química, de alimentos e de cerâmicas (AMS, 2015). Dados de 2015, evidênciam que, aproximadamente um terço da produção de ferro-gusa e mais da metade da produção de ferro-liga produzidos no Brasil utilizam carvão vegetal como termorredutor.

Nos últimos anos, o consumo máximo de carvão foi alcançado em 2005, quando foram produzidos e consumidos mais de 38 milhões de metros de carvão (mdc) (AMS, 2012), no entanto, a indústria siderúrgica foi afetada pela crise econômica ocorrida no cenário mundial a partir de setembro de 2008 e atualmente pela crise política e econômica interna, além da dificuldade de inserção dos produtos siderúrgicos no mercado externo devido a baixa competitividade dos produtos brasileiros, principalmente, com os oriundos da China e Ucrânia, provocando acentuada diminuição na exportação de ferro-gusa, aço e ferro-liga, e consequentemente, na produção e consumo de carvão vegetal. De acordo com o Ibá (2016), o segmento das indústrias produtoras de ferro-gusa operam com apenas 50% de sua capacidade instalada, ainda existindo um elevado índice de ociosidade na produção de carvão vegetal, como reflexo da crise econômica. No entanto, salienta-se que a industria de ferro gusa e aço, bem como os demais setores siderúrgicos continuam investindo somas significativas na implantação e manutenção de florestas renováveis, tendo uma média de plantio anual nos últimos sete anos em torno de 23 mil hectares que correspondem a investimentos da ordem de R$120 milhões por ano. Com a recuperação do mercado de ferro-gusa, que parece iminente, espera-se também a expansão dos plantios florestais (SINDIFER, 2016).

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Alguns fatores afetam a pirólise no que se refere ao rendimento gravimétrico e à qualidade do carvão produzido, que reflete, especialmente, no caso da qualidade do carvão, na resistência e teor de carbono fixo presente no mesmo. Cabe mencionar, conforme relatado anteriormente que a tecnologia empregada e a qualidade da madeira são fatores que afetam, também, diretamente a eficiência de conversão da madeira em carvão vegetal. No entanto, será discutido neste tópico os fatores de processo que devem ser controlados, independente da madeira e do tipo de forno, para maximinizar o rendimento gravimétrico. Dentre esses fatores destacam-se a temperatura de carbonização, a taxa de aquecimento e pressão.

A temperatura de carbonização afeta de maneira diferenciada cada elemento químico da madeira. O teor de carbono eleva rapidamente com o aumento da temperatura de carbonização, enquanto decrescem os teores de hidrogênio e oxigênio. O aumento do teor de carbono fixo do carvão vegetal com o aumento da temperatura final de carbonização é acompanhado pela redução concomitante do teor de matérias voláteis, rendimento e perda de resistência do mesmo.

A composição dos gases gerados na carbonização da madeira depende sensivelmente da temperatura interna. Até 280ºC, desprendem-se gases oxigenados, que irão ceder lugar aos gases hidrogenados à medida que a temperatura do processo aumenta. O desprendimento de hidrocarbonetos continua aumentando até a temperatura de 500ºC. Com o aumento da temperatura há um enriquecimento do gás, pois ocorre aumento dos gases combustíveis e diminuição do teor de CO_2. Inicialmente, os gases são oxigenados, representados pelo CO e CO_2. À medida que a temperatura aumenta, há uma mudança na natureza dos gases: inicia-se a formação dos gases hidrogenados, representados principalmente por CH_4. É de se esperar um aumento no poder calorífico dos gases à medida que se aumenta a temperatura (OLIVEIRA et al., 1982).

Com relação à influência da temperatura de carbonização na recuperação de alcatrão insolúvel, tem-se verificado que um aumento da temperatura final do processo contribui para seu incremento em massa. A formação de alcatrão insolúvel se inicia na faixa de 150 a 200ºC, passando por um máximo na faixa compreendida entre 200 e 340ºC. Nesta faixa de temperatura se produz praticamente 90% do alcatrão durante a carbonização, até uma temperatura final de 400 a 450ºC (OLIVEIRA et al., 1982).

Quando se processa a carbonização da madeira, a taxa de aquecimento ou velocidade de aquecimento do processo de carbonização tem grande influência nos rendimentos gravimétricos dos produtos e também no teor de carbono fixo do carvão vegetal. Pode-se definir taxa de aquecimento como a velocidade que a temperatura se eleva num dado intervalo de tempo, enquanto a madeira é carbonizada.

A relação da taxa de aquecimento com o rendimento em carvão é inversa, ou seja, quando a taxa de aquecimento aumenta, o rendimento em carvão tende a reduzir. Taxas mais elevadas de aquecimento também tendem a produzir um carvão mais friável, o que é facilmente explicável pelo fato de a cinética de carbonização ser mais intensa promovendo assim fissuras e trincas no carvão (CARNEIRO et. al. 2013).

Já a pressão é um parâmetro de pouca influência para produzir carvão uma vez que praticamente todos os sistemas de carbonização trabalham com a pressão atmosférica. Logo o interesse principal neste parâmetro fica restrito a experimentos laboratoriais. A pressão tem relação direta com o rendimento em carvão e inversa com o rendimento em alcatrão. Assim, aumentos na pressão do processo fazem com que os rendimentos em carvão aumentem e os rendimentos em alcatrão diminuam.

A Figura A40 apresenta um balanço de massa típico da produção de carvão vegetal, segundo BRIANE, D. e DOAT, J. (1985).

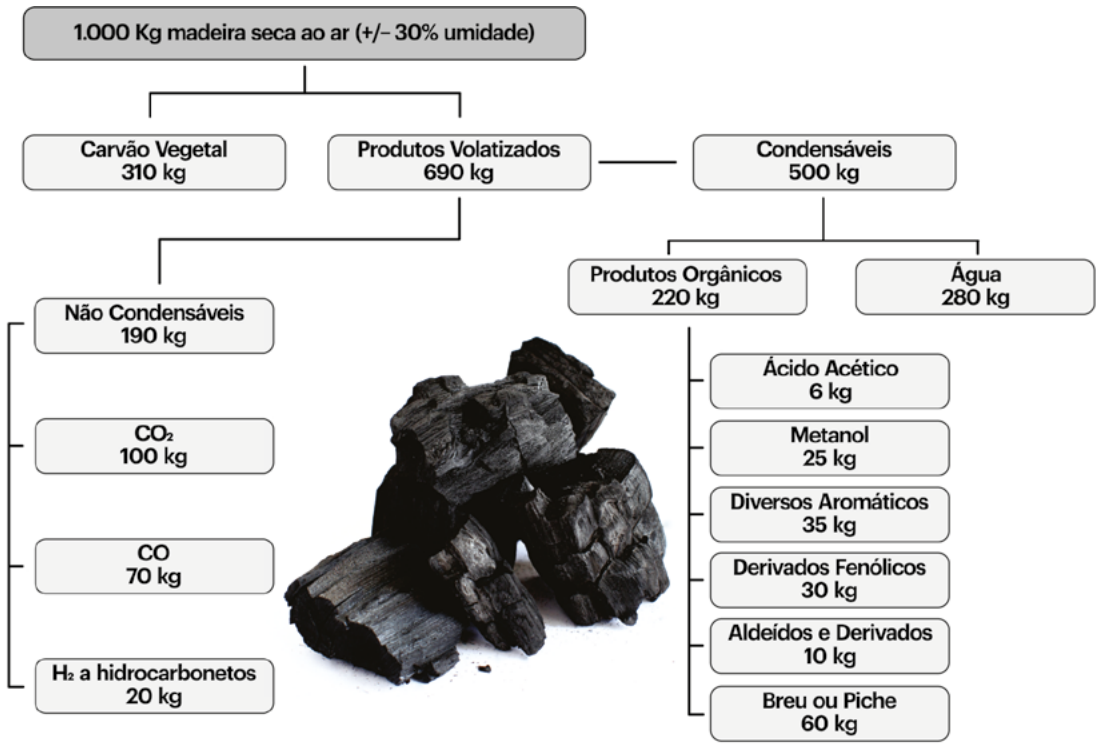


Figura A40 - Balanço Global da conversão de madeira em carvão vegetal.

POTENCIAL INSTALADO

Segundo dados do banco de informações da ANEEL (2017) a biomassa florestal correspondeu por aproximadamente 1,92% do total de energia elétrica gerada no ano de 2015. Essa energia provem do carvão vegetal, gás de alto forno, lenha, licor negro, e resíduos florestais, de um total de 88 usinas gerando 3.048.673 kW.

A capacidade instalada de geração de energia elétrica a partir de biomassa no ano de 2015 foi de 13.257,00 MW, e deste 51 MW foram do carvão vegetal, 112 MW de gás de alto forno, 1.923 MW do licor negro e 400 MW de resíduos florestais (BEN, 2016).

Ainda segundo dados do banco de informações da ANEEL (2017) o estado de Minas Gerais possui atualmente 421 usinas termoelétrica em operação gerando 15,27% do total de energia gerada no estado, e destas 3 são a carvão vegetal, 7 a gás de alto forno (biomassa) e 4 a gás de alto forno (CM). A potência total das termoelétricas está em torno de 2.412.666 kW (Tabela A20).

Usina	Data Operação	Potência Fiscalizada [kW]	Destino da Energia	Proprietário	Município	Fonte
Barreiro	21-01-2004	12.900	PIE	100% para Usina Termelétrica Barreiro S.A	Belo Horizonte /MG	Carvão Vegetal
Usipar Indústria e Comercio	02-01-2007	4.997	REG	100%par a UsiparIndústria e ComercioLtd a - EPP	Pitangui /MG	Carvão Vegetal
AVG I-II	01-09-2009	4.800	REG	100%par a AVG Energética S.A.	Sete Lagoas /MG	Carvão Vegetal

Tabela A20 - Usinas termoelétricas, carvão vegetal, em operação em Minas Gerais.
Fonte: banco de informações da ANEEL (2017)

OUTROS PRODUTOS ENERGÉTICOS DA MADEIRA

PELLETS

A peletização é um processo de densificação da biomassa com o objetivo de reduzir seu volume, baratear o transporte, facilitar seu uso final, além de aumentar a quantidade de energia por unidade de volume.

Os *pellets* são granulados de biomassa prensada com uma forma cilíndrica de diâmetros compreendidos entre 4 e 10 mm e um comprimento variável, nunca superior a cinco vezes o seu diâmetro. A sua densidade deve ser superior a 600 kg/m^3 e eles devem conter teor de umidade inferior a 12%. Na Figura A41, visualiza-se a forma dos *pellets* de biomassa.

Figura A41 - Pellets de biomassa.
Fonte: Autores

A elevada densidade dos *pellets* e a baixa umidade permitem que se tenha elevada concentração de energia em pequeno volume. Os *pellets* podem ser produzidos com recurso de várias fontes de matéria-prima, como resíduos da exploração florestal e da indústria madeireira, além de resíduos agrícolas. Dessa forma, são aproveitados resíduos que normalmente não são utilizados ou devidamente valorizados. No entanto, também se pode proceder à produção de biomassa dedicada exclusivamente para esse fim, como por exemplo árvores de espécies florestais de rápido crescimento.

A produção de *pellets* passa por alguns processos, a saber: a biomassa deve ser triturada, formando-se cavacos, que, em seguida, devem ser secos, até teor de umidade inferior a 15%; os cavacos, então, são moídos; a serragem, por sua vez, é prensada em peletizadoras, de modo a se obter a forma pretendida e, ao final, deve-se acondicioná-la convenientemente.

O setor de produção de *pellets* é delimitado pelo conjunto das atividades relacionadas com a matéria-prima, peletização e comercialização. Trata-se de um sistema agroindustrial diferenciado daqueles dos demais produtos agrícolas e florestais, em razão da reciclagem de resíduos. Na Figura A42, está representado um esquema do processo de produção de *pellets*.

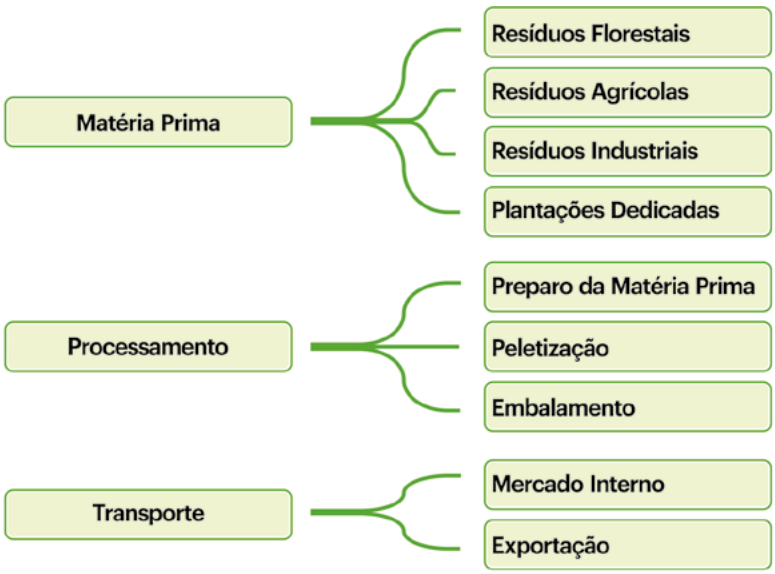


Figura A42 – Esquema das etapas para a produção de pellets. - Fonte: Barbosa, 2008.

Uma linha de produção de *pellets* é constituída por vários componentes conectados entre si, de modo a obter um ciclo de produção. Pode ser dividida em várias seções e, de acordo com as necessidades do produtor, toda a linha de produção pode ser automatizada ou apenas parte das diferentes seções.

Desse modo, os equipamentos necessários para cada etapa devem ser criteriosamente escolhidos de acordo com a matéria-prima a processar e a capacidade instalada, de modo que se consiga obter boa qualidade do produto final.

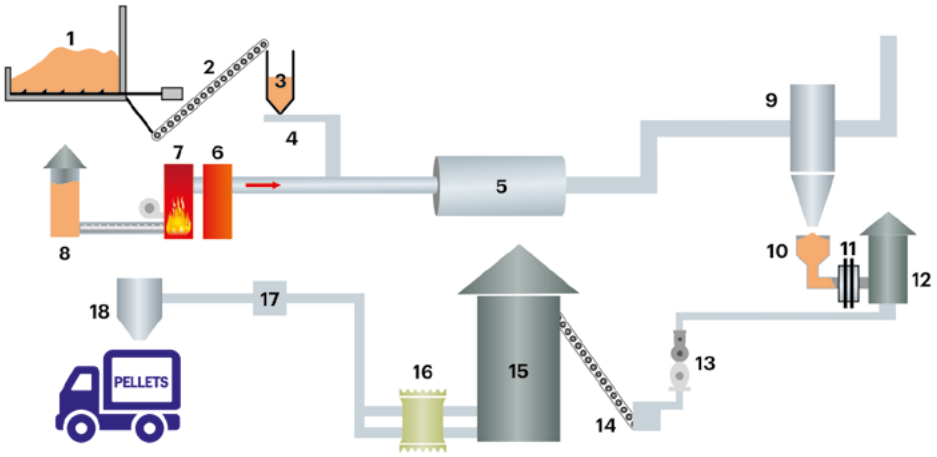
O esquema apresentado na Figura A43 corresponde a uma linha de produção composta por silo de armazenamento de matéria-prima, triturador, gerador de ar quente, secador, recuperador, peletizadora, resfriador, máquina de embalagem e um silo de carga.

O processo de produção é iniciado em silo onde é depositada a matéria-prima. Em seguida, a biomassa é transportada, para limpeza e secagem, e imediatamente vai aos trituradores, onde é transformada em serragem, que prossegue para um novo silo e, em seguida, é transportada para uma prensa granuladora (peletizadora), onde se formam os pellets. Posteriormente, os *pellets* seguem para um resfriador, onde são secos, resfriados e limpos e, por fim, é efetuado o processo de embalagem.

As propriedades dos *pellets* podem variar consideravelmente, sendo determinantes para a qualidade dos *pellets* fatores como matéria-prima e teor de umidade.

A durabilidade dos *pellets* é de grande importância para o consumidor. Os *pellets* com baixa durabilidade são sensíveis ao estresse mecânico durante o transporte e manuseio, o que resulta na formação de finos e dificulta sua utilização. A durabilidade é influenciada, principalmente, pelo teor de lignina e umidade da matéria-prima.

O teor de umidade nos pellets pode variar de 5 a 10% e afeta significativamente o poder calorífico, que está entre 4,7 e 5,0 MWh por tonelada de *pellets*.



Legenda da figura: 1 - Depósito de matéria-prima; 2 - Tapete de Transporte; 3 - Limpeza primária; 4 - Regulagem; 5 - Tambor secador; 6 - Recuperador de cinzas; 7 - Caldeira; 8 - Silo de Combustível (caldeira); 9 Separador de vapor; 10 - Lempeza secundária; 11 - Triturador; 12 - Silo secagem; 13 - Peletizadora; 14 - Refrigeradores; 15 - Silo; 16 - Embalagem; 17 - Limpeza; 18 - Silo de carga.

Figura A43 – Constituição de uma linha de produção de pellets. Fonte: Pelletslar, s.d.

Os *pellets* possuem entre 3 e 25 mm de diâmetro e o comprimento varia de 5 a 40 mm. Quando o diâmetro é maior que 25 mm, o produto é chamado de briquete. Os diâmetros mais comuns dos *pellets*, na Europa, variam de 4 a 10 mm, mas os *pellets* provenientes do mesmo lote devem ter o mesmo diâmetro, resultando em um produto mais homogêneo e de mais fácil manuseio.

Para a diminuição da variabilidade dos *pellets*, há uma série de normas europeias que padronizam as propriedades do produto, como diâmetro, comprimento, densidade, teor de umidade, entre outros, conforme pode ser observado na Tabela 21.

				Swan Label		SS-187120		
Parâmetro	DINplus	DIN-51731	Ö-Norm M-7135	G1	G2	C1	C2	C3
Diâmetro (mm)	4-10	4-10	4-10	=6	=8	=25	=25	=25
Comprimento (mm)	5xD[a]	=50	5xD	5xD	5xD	4xD	5xD	6xD
Densidade ($kg.dm^{-3}$)	=1,2	=1-1,4	=1,12	0,63 -0,7	0,7 -0,78	=0,6[c]	=0,5[c]	=0,5[c]
Umidade (%)	=10	=12	=10	<9	<9	=10	=12	=12
Cinzas (%)	=0,5	=1,5	=0,5	=0,5	=0,5	=0,7	=1,5	=1,5
Poder calorífico (MJ.kg-1)	=18	15,5-19,5	=18	=16,9	=16,9	=16,9	=16,9	=15,1
Enxofre (%)	=0,04	=0,08	=0,04	=0,04	=0,04	=0,08	=0,08	-
Nitrogênio (%)	=0,30	=0,30	=0,30	=0,30	=0,30	-	-	-
Cloro (%)	=0,02	=0,03	=0,02	=0,02	=0,02	=0,02	=0,02	-
Finos/ Abrasivos(%)	=2,3	-	=2,0	=2,0[b]	=2,0[b]	=0,8[b]	=1,5[b]	=1,5[b]
Durabilidade mecânica(%)	=97,5	-	=97,5	=97,5	=97,5	-	-	-
Aditivos (%)	<2,0	-	<2,0	-	-	TS	TST	S

G1, G2: representam diferentes grupos de pellets; C1, C2 e C3: representam classes de pellets, por regulamentos suecos; D: diâmetro do pellet; TS: tipo e quantidade devem ser especificados; a:no máximo 20% dos pellets podem ter comprimento maior que 7,5 mm x diâmetro; b: % de peso das partículas <3,15mm; c: densidade da matéria-prima (kg.dm-3).

Tabela A21 - Requisitos de qualidade para pellets, de acordo com normas europeias.

Na Alemanha, DIN-52731 e DINplus são os padrões normatizados para *pellets*, enquanto na Áustria utiliza-se a norma O¨NOrm-M-7135. A norma suíça (Swiss Pellet) é equivalente às normas DIN. A norma DINplus combina os requisitos das normas DIN-51731 e O¨Norm-M-7135 e oferece um dos mais rigorosos padrões de qualidade para *pellets* na Europa. O padrão sueco (SS-187120) diferencia os *pellets* de madeira em três grupos com base em suas dimensões e seu teor de cinzas.

Quanto a produção, a Europa se destaca como maior produtor de *pellets*, detendo, em 2014, aproximadamente 54% da produção, seguida pela América do Norte, com 37%. Já as outras regiões, América do Sul, África e Ásia, contribuem com 9% da produção, como pode ser visto na Figura A44 (IEA BIOENERGY, 2015).

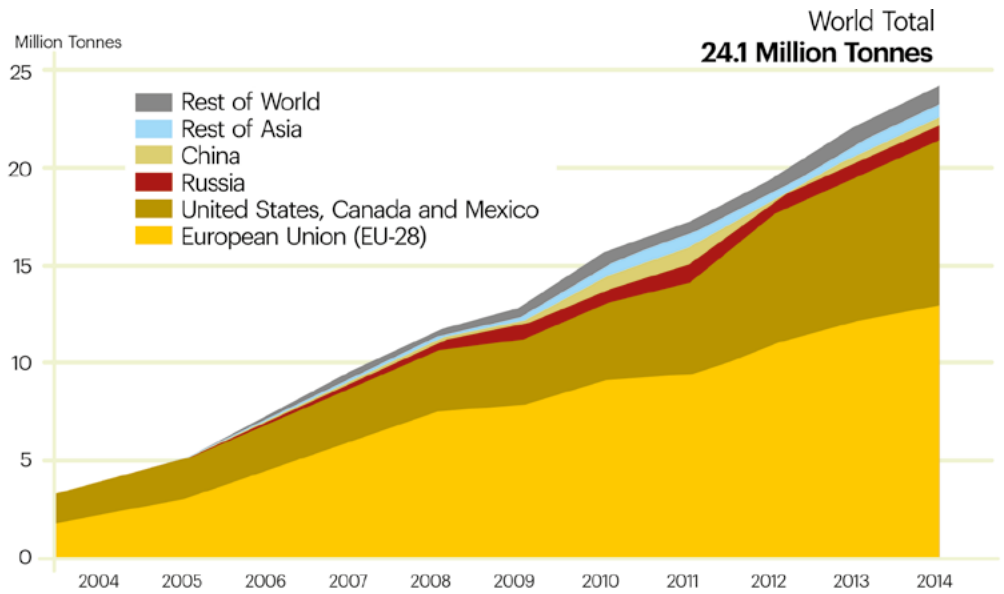


Figura A44 – Produção mundial de pellets de madeira. Fonte: IEA BIOENERGY, 2015

O uso de *pellets* pelo setor industrial é mais forte em países em que a produção de energia elétrica, ou as usinas de aquecimento central, são baseadas na queima de biomassa, como o caso da Suécia, Dinamarca, Holanda, Bélgica e reino unido. Países como Alemanha, Itália e Áustria, bem como países da América do Norte, têm suas demandas focadas no aquecimento residencial (ABRAF, 2012).

O mercado de *pellets* vem crescendo, nos últimos anos: em 2006, a produção de *pellets* de madeira foi estimada entre 6 e 7 milhões de toneladas (não incluindo Ásia, América Latina e Austrália). Já em 2010, a produção mundial de *pellets* chegou a 14,3 milhões de toneladas, incluindo os países mencionados, enquanto o consumo foi de cerca de 13,5 milhões de toneladas, registrando aumento de mais de 110% se comparado a 2006. O maior aumento da capacidade de produção foi observado na América do Norte e Rússia, seguidos pelos tradicionais países produtores europeus, como Alemanha, Suécia e Áustria (IEA BIOENERGY, 2011).

Em 2014 houve um crescimento de 16% na produção mundial de *pellets* de madeira utilizados como combustível, de forma que em 2015 esta produção alcançou 26 milhões de toneladas, fomentada pela expansão do consumo europeu. Em 2015 a comercialização de *pellets* para a Europa proveniente da América do Norte aumentou 25% em relação a 2014, mantendo a Europa como a máxima consumidora (78%) acompanhada pelo EUA (12%) (ABIB BRASIL, 2016).

Quanto ao consumo de *pellets* nos próximos anos, a Europa Ocidental continuará a ser o maior consumidor. Já na América do Norte o principal crescimento no consumo de *pellets* será o setor residencial. Quanto aos países asiáticos, que começaram a consumir *pellets* em larga escala recentemente, também aumentarão o consumo do produto no futuro (FIGURA A45).

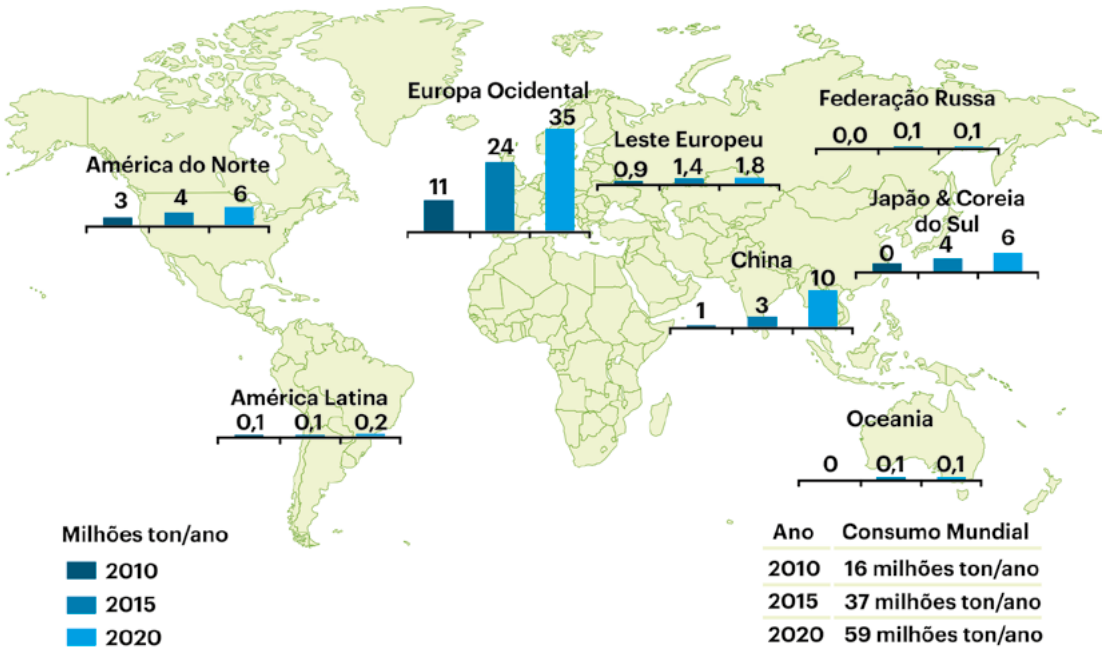


Figura A45 – Consumo mundial de pellets, em milhões de toneladas por ano.
Fonte: Pöyry Management Consulting, 2012.

Como consequência deste crescimento de produção e consumo, surgiu a necessidade de fornecimento mais estável e seguro da matéria-prima e, portanto, o interesse dos produtores no fornecimento de matéria-prima, como madeira roliça e resíduos florestais, está crescendo.

Há também perspectivas para o crescimento da produção de *pellets* em regiões como Brasil, China, Índia, África, entre outras (FIGURA 46). Nessas regiões, há disponibilidade de grandes volumes de resíduos agrícolas e florestais que podem ser matéria-prima para a peletização.

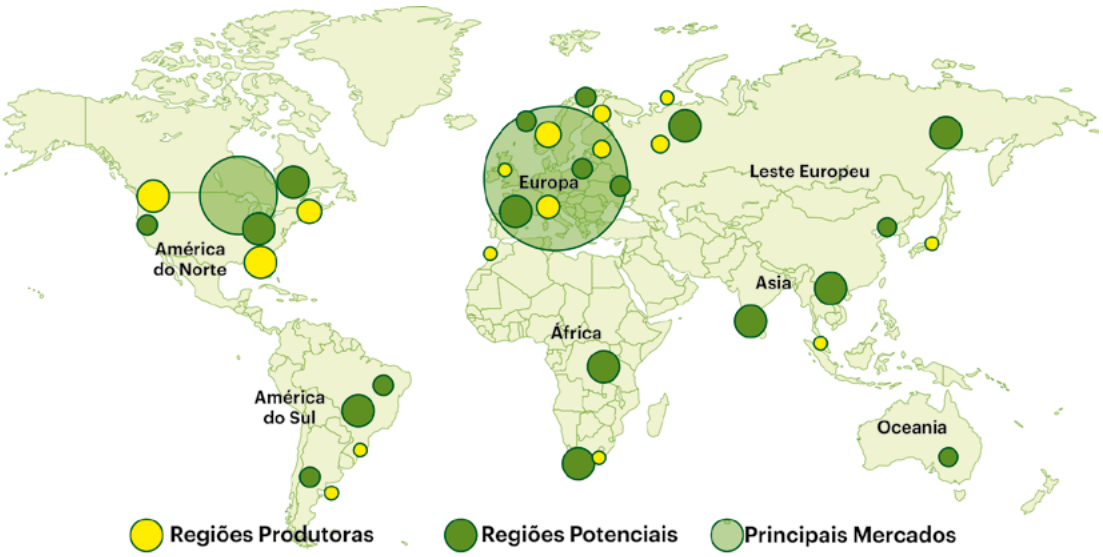


Figura A46 – Perspectivas para o mercado de pellets. - Fonte: Andritz, 2012.

No Brasil, em 2010, havia 10 fábricas produtoras de pellets, utilizando Pinus ou resíduos de *Eucalyptus* como matéria-prima, com capacidade de 320 kton por ano, exclusivamente para o mercado interno (OLIVEIRA, 2011). Como comparação, para o mesmo ano, o Brasil possuía uma capacidade instalada muito maior para a produção de briquetes, 2,8 milhões de toneladas (OLIVEIRA, 2011). De acordo com a ABRAF (2012), no ano de 2011 o número de plantas industriais produtoras de *pellets* dobrou em relação ao ano anterior, sendo que a maioria das fábricas concentram-se na região Sul.

Na Figura A47 é possível visualizar a localização das principais plantas de produção de *pellets* de madeira no Brasil até 2014, de acordo com ABIPEL (2015).

Figura A47 – Localização das plantas de pellets no Brasil (2014). - Fonte: ABIPEL, 2015

Em 2016 aproximadamente 14 indústrias produtoras de *pellets* encontram-se no Brasil, localizando-se predominantemente, na região centro sul brasileira (ABIPEL, 2016). Em Minas Gerais, tem-se atualmente 1 fábrica de *pellets* localizada no Munícipio de Ressaquinha.

A viabilidade econômica de instalação de uma usina de peletização está bastante relacionada com a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade desse material, as distâncias de transporte, as tarifas de energia elétrica e, principalmente, a capacidade instalada da fábrica. Alguns estudos apontam para valores em torno de 25 a 30% de taxa interna de retorno com um *pay-back* entre três e cinco anos.

Como exemplo, pode-se citar a avaliação de dois cenários de produção de *pellets* a partir de serragem de madeira (UASUF e BECKER, 2011), sendo considerada a produção anual de *pellets* do primeiro cenário como a metade do segundo, que envolve uma estrutura de custos de produção dividida da seguinte maneira (FIGURA A48).

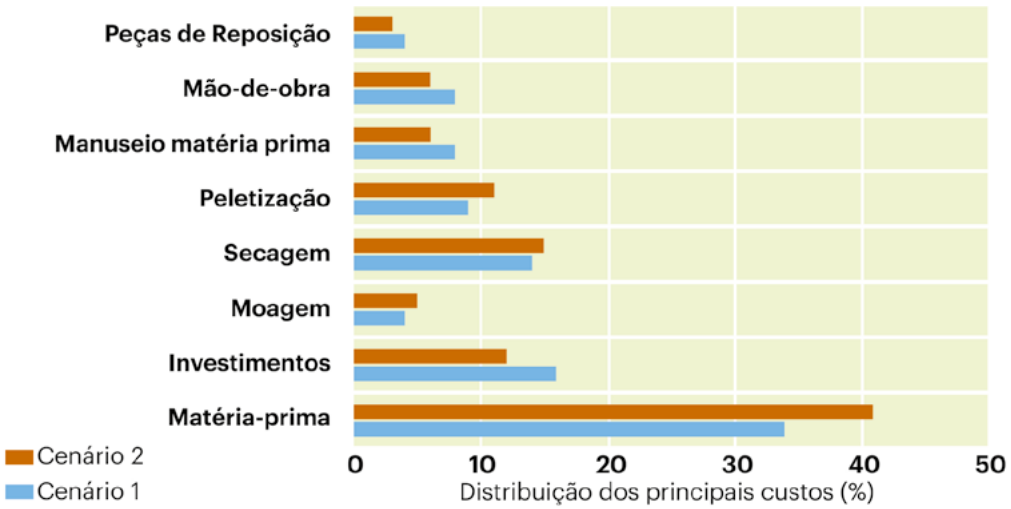


Figura A48 – Distribuição de custos em dois cenários de produção de pellets.

Quanto à contribuição específica dos principais parâmetros utilizados para o cálculo dos custos, a matéria-prima é o fator dominante, que representa entre 33 e 41% dos custos totais específicos, enquanto os custos em investimento estão em segundo lugar, seguidos por custos de secagem. Deve-se notar que os custos gerais de investimento diminuem quando há aumento da produção.

Neste sentido, cabe salientar, que mesmo com investimentos mais altos, a utilização de fontes renováveis de energia, a exemplo dos *pellets*, ao invés de combustíveis fósseis implica em benefícios ambientais e econômicos a curto, médio e longo prazo. Há redução nas emissões atmosféricas de gases de efeito estufa, visto que os *pellets* são fonte de energia neutra em CO_2, além da menor emissão de SO_x e NO_x, causadores da chuva ácida e depleção da camada de ozônio (OBERNBEGER et al., 2006). Além disso, a utilização de *pellets* pode desempenhar um papel importante nas economias nacionais, evitando a importação e dependência de muitos países em combustíveis fósseis, visto que há uma grande diversidade de fontes de biomassas que podem ser utilizadas.

Os *pellets* de Pinus destacaram-se por sua maior equivalência energética, ou seja, uma tonelada de *pellets* de Pinus é correspondente a uma maior quantidade de combustíveis, em relação aos outros materiais avaliados (TABELA A22). Por exemplo, a energia gerada por uma tonelada de *pellets* de Pinus equivale à energia gerada por 460 litros de diesel; 418,34 litros de óleo combustível; 512,16 litros de gasolina; 361,86 kg de GLP; 713,21 m³ de gás natural; 1,58 toneladas de cavacos de madeira de eucalipto; 827,50 litros de etanol hidratado; ou, 466,67 litros de biodiesel. A principal vantagem dos *pellets* de Pinus em relação às outras biomassas é o elevado poder calorífico, apesar da menor densidade a granel. Em contrapartida, os *pellets* de palha de arroz substituem quantidades menores de combustíveis fósseis ou biocombustíveis, como os cavacos, devido ao seu baixo poder calorífico.

Pellets	Diesel (l)	Oléo combustí vel (l)	Gasolina (l)	GLP (kg)	Gás natural (m³)	Cavacos (ton)	Etanol (l)	Biodiesel (l)
Eucalipto	430,97	391,47	479,26	338,62	667,39	1,48	774,34	436,69
Pinus	460,56	418,34	512,16	361,86	713,21	1,58	827,50	466,67
Cascade Eucalipto	413,71	375,79	460,06	325,05	640,66	1,42	743,33	419,20
Ponteira de Eucalipto	433,48	393,75	482,05	340,59	671,28	1,48	778,85	439,23
Resíduos dealgodoeir o	435,61	395,68	484,42	342,26	674,57	1,49	782,67	441,39
Bagaçode cana-de-açúcar	447,08	406,10	497,18	351,28	692,34	1,53	803,29	453,02
Capim-elefante	401,60	364,78	446,59	315,54	621,90	1,38	721,56	406,92
Palhade arroz	375,54	341,12	417,62	295,06	581,55	1,29	674,75	380,52

Tabela A22 - Equivalência energética entre uma tonelada de pellets das diferentes biomassas e outros combustíveis Fonte: Pereira, 2014.

Comparando-se a energia gerada por *pellets* e cavacos, observa-se que, em média, a energia gerada por 1 tonelada de *pellets* equivale à energia de 1,45 toneladas de cavaco de madeira. Esta diferença refere-se, principalmente, à umidade média dos cavacos, normalmente maior que dos *pellets*, que contribui para a diminuição do poder calorífico útil. Contudo, a maior vantagem dos *pellets* sobre os cavacos está relacionada à densidade a granel. Observa-se que, em termos de volume, 2,3 m³ de cavacos equivalem a 1m³ de *pellets* para produção de energia.

Além de ambientalmente favorável, o aproveitamento energético e racional da biomassa tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local.

Outro ponto de grande importância é que a substituição de combustíveis fósseis por biomassa contribui para a redução da emissão de CO_2, entre outros gases de efeito estufa, contribuindo para a diminuição do aquecimento global.

No caso dos *pellets* de madeira, seu tamanho reduzido e a uniformidade da densidade a granel auxiliam na dosagem exata a ser queimada para gerar a quantidade de energia necessária para cada finalidade. Esse tamanho reduzido também contribui para

a diminuição do volume de armazenamento, sendo esse outro ponto positivo. A mesma energia calorífica é produzida por 1 tonelada de *pellets* e por 1,5 tonelada de madeira (que em geral é mais úmida). Além do mais, os *pellets* não apresentam riscos de explosão, como ocorre com alguns combustíveis, sendo considerados mais seguros. Existem, ainda, tipos de embalagens de 15 kg, o que facilita mais o transporte e o armazenamento. Entretanto, por ser um material combustível, a armazenagem precisa seguir critérios e regras de segurança.

Os *pellets* são considerados combustíveis renováveis, limpos e naturais, uma vez que a quantidade de CO e CO_2 que libertam, ao serem queimados, é a mesma que a árvore absorveu durante o seu crescimento. Logo, o governo de alguns países já apresenta incentivos fiscais para as empresas que fizerem de seu uso uma realidade.

A substituição de caldeiras alimentadas por combustíveis fósseis por caldeiras consumindo *pellets* é factível de merecer benefícios de créditos de carbono, assegurados pelos processos de MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Outra vantagem dos *pellets* é o preço. Por serem feitos de resíduos de outras indústrias, o valor é inferior ao da grande parte dos outros combustíveis, sendo então economicamente atrativo. A instabilidade e a tendência crescente do preço do barril de petróleo também vêm contribuindo para a utilização de energias alternativas. Inclusive, o preço dos *pellets* é menos influenciado por crises mundiais. Logo, além de mais baratos, seu valor no mercado é considerado estável e previsível.

Dessa maneira, os *pellets* são considerados como combustível alternativo sustentável e com potencialidade para substituição de outros mais usados como o gás natural e o petróleo, diminuindo assim a dependência dos mesmos.

MADEIRA TORREFICADA

A torrefação pode ser definida como uma pirólise parcial da biomassa em ambiente com restrição de oxigênio. O processo ocorre entre 200 e 300 °C, sob pressão atmosférica e por curtos tempos de residência, se comparado à pirólise para produção de carvão. Na torrefação da biomassa, obtém-se material torrificado de cor amarronzada à escura, gases condensáveis ricos em ácidos orgânicos e gases não condensáveis compostos principalmente por CO e CO_2, como pode ser visto pela Figura A49 (BERGMAN et al., 2005; NHUCHHEN et al., 2014).

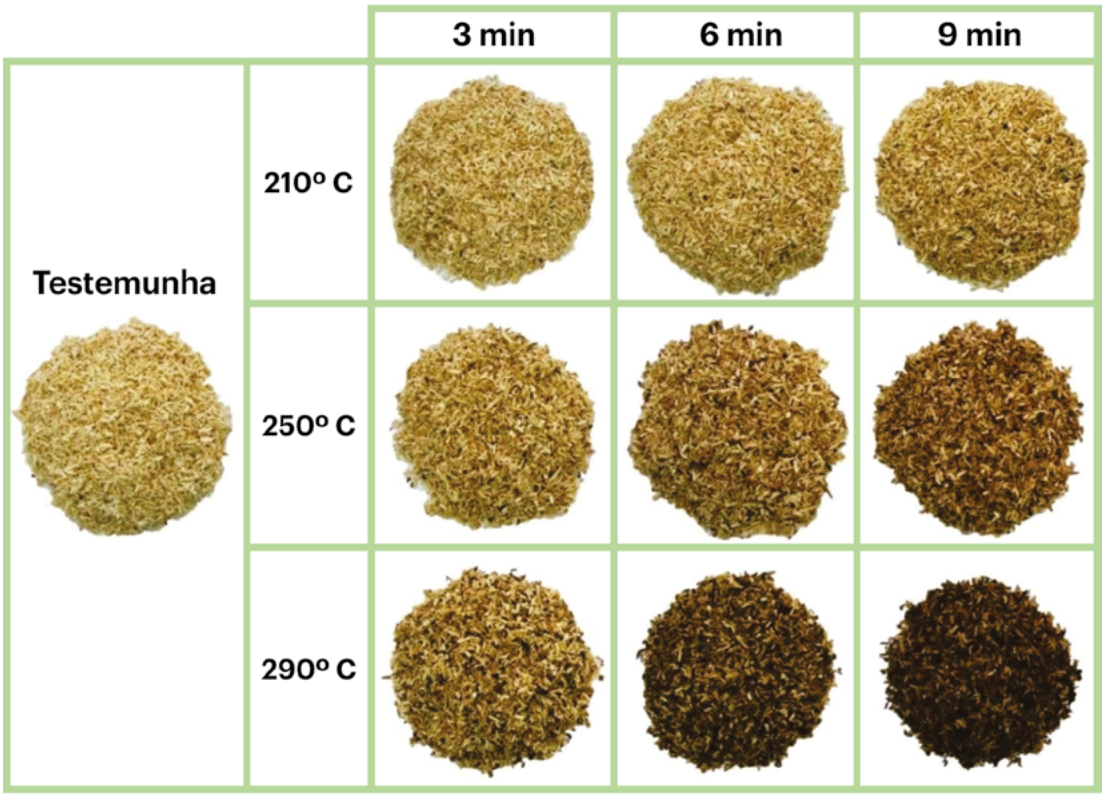


Figura A49 – Biomassa torrificada em diferentes tempos e temperaturas. - Fonte: Autores

Diferentemente da pirólise convencional, na torrefação, o rendimento em massa é superior, sendo seu principal objetivo reduzir os componentes de baixo poder calorífico que estão presentes na biomassa e, assim, preservar grande parte de sua energia. De modo geral, para uma redução em massa da ordem de 20%, ocorre um decréscimo de 10% no conteúdo energético da biomassa (KOPPEJAN et al., 2012).

A biomassa sofre várias mudanças durante a torrefação, tais como: redução da higroscopicidade, pela degradação das hemiceluloses e, consequentemente, dos grupos hidroxílicos responsáveis por tal propriedade (LI et al., 2012); aumento do poder calorífico superior, em função da degradação de compostos menos energéticos; aumento relativo do teor de lignina, em função da degradação da celulose, hemiceluloses e extrativos (NHUCHHEN et al., 2014); redução da resistência mecânica, em função da degradação parcial de ligações químicas presentes na estrutura da biomassa in natura (PHANPHANICH e MANI, 2011); e, aumento da densidade energética, em função do aumento do poder calorífico útil (FIGURA A50) (PENG et al., 2013).

A biomassa torrificada apresenta propriedades competitivas frente aos combustíveis fósseis e pode ser empregada em processos de conversão térmica, como a gaseificação e cogeração, ou mesmo na conversão, em briquetes e pellets (VAN DER STELT et al., 2011). Na Tabela A23 é apresentada a comparação entre biomassa, *pellets* e *pellets* torrificados.

Figura A 50 – Pellets *in natura* e torreficados. Fonte: Ehrig, et al. 2013.

Parâmetro	Biomassa	Pellets	Pellets torrificados
Teor de umidade (%)	35	10	3
Poder calorífico (MJ.kg-1)	10,5	16	21
Densidade (kg.m-^{3})	550	600	800
Densidade energética (GJ.m-3)	5,8	9	16,7

Tabela A23 - Comparação entre biomassa, pellets e pellets torrificados. Fonte: USLU, et al, 2008.

Efeito	Variável	U.E.H (%)	M.V. (%)	C.F. (%)	Cinzas (%)	PCS (MJ/kg)
Testemunha	---	14,4	85	13,9	1,1	19,3
Temperatura	220°C	11,1 a*	84,7 a	14,2 c	1,1 a	19,3 c
	260°C	7,5 b*	82,3 b*	16,5 b*	1,2 a	19,9 b*
	300°C	6,6 c*	78,4 c*	20,3 a*	1,2 a	20,7 a*
Tempo	10 min	10,0 a*	83,7 a*	15,1 c*	1,2 b	19,5 c
	15 min	6,6 b*	78,4 b*	20,3 b*	1,2 b	20,7 b*
	20 min	6,4 b*	70,5 c*	27,7 a*	1,8 a*	22,3 c*

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna dentro de cada efeito pelo Teste Tukey a 5%. Médias seguidas de asterisco (*) diferem significativamente da testemunha a 5% pelo Teste Dunnett.

Tabela A24 - Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH), Materiais Voláteis (MV), Carbono Fixo (CF), Cinzas e Poder Calorífico Superior (PCS) de cavacos torrificados de eucalipto em função dos tratamentos

Na Tabela A24 são apresentadas as propriedades dos cavacos de eucalipto em função do tempo e temperatura de torrefação.

Observa-se que o aumento tanto da temperatura máxima quanto do tempo de aquecimento promoveu um decréscimo significativo na umidade de equilíbrio higroscópico e nos teores de materiais voláteis e um aumento nos teores de carbono fixo, cinzas e no poder calorífico superior dos cavacos torrificados.

Quanto ao processo, a torrefação pode ser dividida em quatro etapas básicas. A primeira compreende a secagem, sendo retirada apenas a água livre presente na biomassa; na segunda, é removida a água de constituição presente nas ligações e também alguns hidrocarbonetos; na terceira, ocorre a torrefação propriamente dita com a liberação de parte dos compostos voláteis; e, na quarta, ocorre o resfriamento à temperatura ambiente do material torrificado (NHUCHHEN et al., 2014). Logo, os sistemas para torrefação da biomassa devem contemplar essas quatro etapas, sendo desejável que os mesmos sejam compactos, de baixo custo e consumo de energia, produtivos e que gerem materiais torrificados homogêneos.

A torrefação pode ser realizada em diversos tipos de reatores, sendo os principais modelos disponíveis no mercado dos tipos: tambor rotativo, rosca sem fim (FIGURA A51), múltiplos fornos, leito fluidizado, micro-ondas e correia transportadora oscilante (KLEINSCHMIDT, 2011). Independente do sistema, o processo é influenciado, principalmente, pela temperatura de torrefação, tempo de residência no reator, granulometria e umidade da biomassa (NHUCHHEN et al., 2014).

As tecnologias de torrefação existentes são compostas por uma ampla diversidade de meios de aquecimento, na maioria adaptações de sistemas de secagem, incluindo-se reatores do tipo tambor rotativo, parafuso rosca-sem-fim, forno de soleiras múltiplas, micro-ondas, secador em esteira, leito fixo e leito móvel (KOPPEJAN et al., 2012).

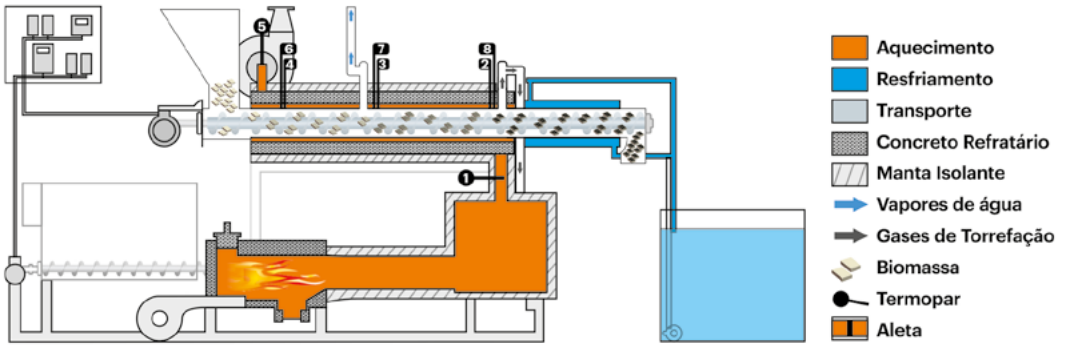


Figura A51 – Esquema do sistema de torrefação de biomassa tipo rosca sem fim, desenvolvido no LAPEM/UFV. Fonte: Magalhães, 2015.

As Figura A52 e A53 apresentam alguns torreficadores de biomassa para geração de energia térmica e elétrica.

Figura A 52 – Torreficador horizontal de biomassa. Fonte: Vencor, 2015.

Figura A53 – Torreficador de cavacos. Fonte: TSI, 2016.

A torrefação em escala comercial ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento, estando associada à produção de *pellets*, gaseificação e cogeração de energia e restrita a alguns países da Europa, Estados Unidos e Canadá (WILÉN et al., 2014).

Dentre os principais projetos de torrefação existentes pelo mundo, segundo o levantamento feito por Wild et al. (2016), são cinco indústrias operando oficialmente em escala comercial, com produções superiores a 2 ton/hora cada, nas cidades de Derby (Reino Unido), Quitman (EUA), Duiven (Holanda), Condado de Roscommon (Irlanda) e Dilsen-Stokkem (Bélgica). Todas elas estão classificadas atualmente com status de disponível e operando em sistemas integrados que incluem pré-tratamento, torrefação, densificação, conversão energética e/ou combustão.

Outras indústrias citadas por Wild et al. (2016) encontram-se em escala de demonstração (0,5 ton/hora – 2 ton/hora) ou em escala piloto (até 500 kg/hora) em status operando ou em implantação. As principais iniciativas listadas localizam-se em cidades dos Estados Unidos (Independence, Healy, White Castle, Raleigh, Condado de McKean, Fort Lee), Canadá (Bécancour, Rouyn-Noranda, Trois-Rivières), Suécia (Holmsund), Dinamarca (Stenderup), Austria (Frohnleiten), Bélgica (Seraing), Espanha (Urnieta, Aoiz), França (Mazingarbe) e Holanda (Rotterdam).

No Brasil, ainda não existe plantas industriais de torrefação da madeira, sendo o desenvolvimento desta técnica mais restrita as principais empresas de bionergia no país e também aos centros de pesquisas, a exemplo da Universidade Federal de Viçosa.

O Custo de produção de torrefação é variável, pois depende tanto dos parâmetros relacionados a matéria prima e quanto do processo. Mas, segundo estudos realizados por Shah et al. (2012) o custo da tonelada de biomassa torrificada fica na faixa de 13 a 37 dolares.

LICOR NEGRO

A produção de celulose nada mais é que a deslignificação da madeira que, para Foelkel (2009), ocorre pela gradual degradação e fragmentação da molécula da lignina. Os principais métodos químicos utilizados na deslignificação da madeira são o processo sulfito (ácido) e os processos soda e Kraft (ambos alcalinos), sendo que processo de polpação Kraft é atualmente o mais utilizado para a produção de polpa celulósica no Brasil, com mais de 95"% da produção obtida por esse processo (GOMES, 2009). Ao fim do processo de cozimento da madeira tem-se, como subproduto, um sistema complexo de compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos em meio aquoso, denominado licor negro, cuja composição química varia em função dos reagentes empregados no processo (licor branco), das condições de cozimento e, principalmente, do tipo da madeira utilizada (VENTAKESH e NGUYEN, 1985).

Segundo dados da Industria Brasileira de Árvores (2016) em 2015 a produção brasileira de celulose, considerando-se processo químico – fibra curta (eucalipto) e longa (pinus) – e pasta de alto rendimento, foi de 17,4 milhões de toneladas, tendo um crescimento de 5,5% superior ao de 2014, e com essa produção o Brasil consolidou sua posição no mercado mundial da *commodity*, ocupando o 4º lugar no ranking de maiores produtores. Observa-se na Figura A54 que produção de celulose e papel está concentrada nos esta-

dos do sul e sudeste. Em Minas Gerais, tem-se a empresa CENIBRA. O crescimento das indústrias e consequente aumento na produção de celulose ocasionaram, também, um aumento do volume de licor negro gerado no processo, que é considerado um subproduto do processo de polpação da madeira (DIAS, 2014). Segundo o Balanço Energético Nacional (2016) o licor Negro (Lixívia) e os outras fontes renováveis de energia foram responsáveis por 2,2% de toda energia consumida no Brasil em 2015, sendo 55,7% deste total ofertada pelo licor negro, correspondendo a 7.905 (mil tep).

De modo, geral, as unidades fábris de celulose mais modernas são autossuficientes em energia, e ainda geram excedente que são negociado com as concessionárias, sendo que só no ano de 2015 cerca de 11,9 milhões de GJ foram comercializados para a rede pública. E essa energia vem quase que exclusivamente dos subprodutos de seus processos, principalmente do licor negro e resíduos florestais, participando com 62,5% e 17,3%, respectivamente, de toda energia produzida (FIGURA A55) (IBÁ, 2016).

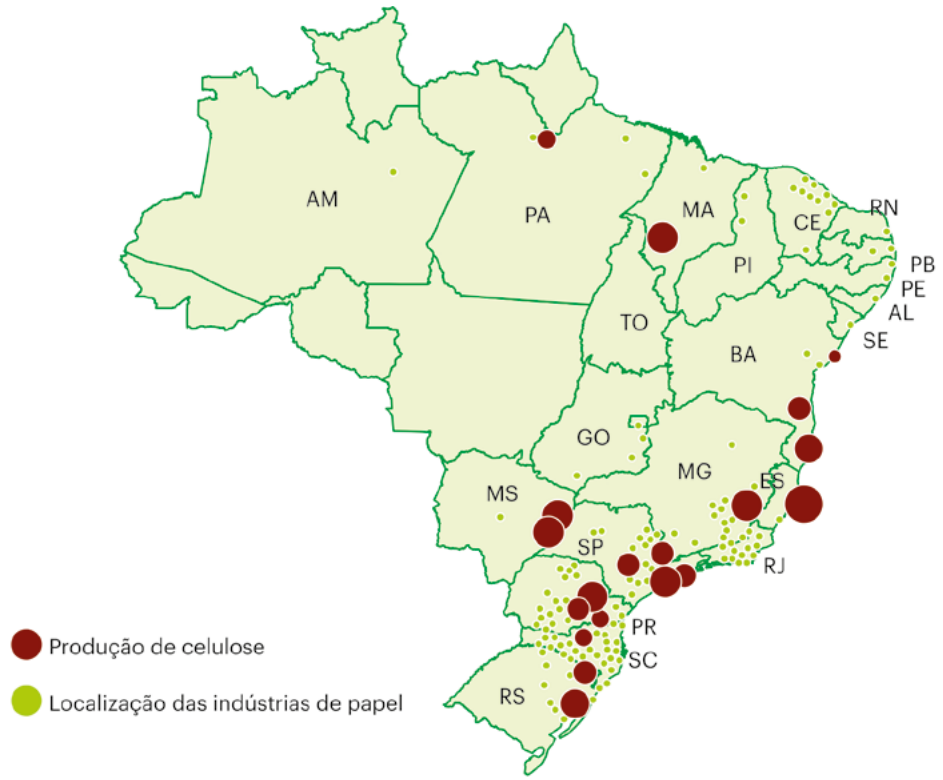


Figura A54 – Distribuicao geografica das empresas produtoras de celulose e papel.
Fonte. IBÁ, 2016.

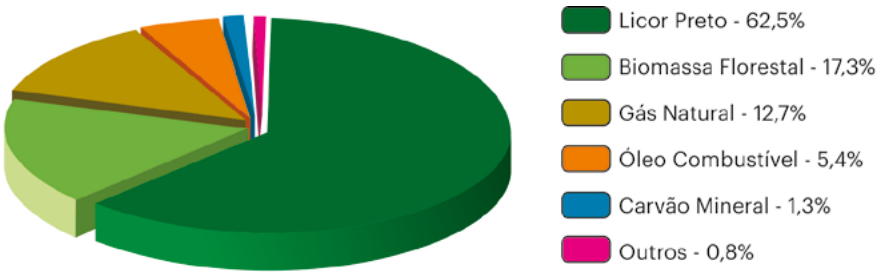


Figura A55 – Fontes de energia utilizadas pelo setor de celulose. - Fonte: IBÁ, 2016

O licor negro possui, em sua composição, aproximadamente, entre 30 e 50% de lignina, sendo o restante derivado de outras frações da madeira, particularmente extrativos e outros constituintes inorgânicos oriundos principalmente dos reagentes utilizados no processo de polpação.

Na Tabela A25 são apresentadas as composições típicas dos licores negros do processo kraft de madeiras de folhosas e coníferas.

Componente	Composição (% em massa)	
	Madeira conífera	Madeira folhosa
Lignina	45	38
Ácidos xilosacarídeos	1	5
Ácidos glucosacarídeos	14	4
Hidroxiácidos	7	15
Ácido fórmico	6	6
Ácido acético	4	14
Resinas e Ácidos graxos	7	6
Terebentina	1	-
Outros	15	12

Tabela A25 - Composição típica dos licores negros do processo kraft (LIN e LIN, 1990). Fonte: Gouveia, 2012

De acordo com Cardoso et. al. (2006) o poder calorífico do licor negro deve ser acompanhada ao longo da unidade de recuperação para melhor entendimento, do seu comportamento. A especificação do poder calorífico é fundamental para o fechamento dos balanços de massa e energia do processo na caldeira de recuperação. Os autores verificaram também que o poder calorífico do licor negro aumenta com o aumento da relação orgânico/inorgânico, tenho um valor médio de 4000 kcal/kg para uma razão igual a 2.

Kouisni et al. (2011) afirmam que o maior problema de recuperação do licor negro nas indústrias de celulose é de fato o alto preço da caldeira de recuperação: a quantidade de celulose produzida vem crescendo bastante nos últimos tempos, assim, a planta da indústria também precisa ser ampliada para conseguir suprir a grande demanda, mas, como a instalação da caldeira de recuperação é muito cara, vem cada vez mais sendo objetivada a ampliação do uso da lignina residual do processo para outras finalidades.

Estes mesmos autores afirmam também que, frente à realidade das indústrias de não conseguirem consumir todo o licor negro produzido, muitos estudos sobre a lignina foram e estão sendo realizados para a sua conversão em produtos de alto valor agregado. Silva (2010) em um estudo buscando uma alternativa de redução de consumo de combustíveis fósseis em fábricas de celulose, afirmou que grandes esforços têm sido realizados para que, num futuro próximo, possam ser incorporadas nas fábricas de celulose operações de biorrefinarias para produção simultânea de celulose e outros produtos, dentre os quais, a extração de lignina do licor negro, através do processo denominado LignoBoost.

Foelkel (2009) afirma que existem inúmeras possibilidades para o uso da lignina proveniente do licor negro Kraft e Dias (2014) afirma que a lignina tem sido objeto de diversas pesquisas com o intuito de aumentar o seu valor agregado, já sendo utilizada como dispersante e aditivos de concreto, produção de surfactantes, coque metalúrgico, liberação controlada de herbicidas, quelação de metais, briquetes, *pellets* e em adesivos para madeira. Corroborando Luong et al. (2012) também ressaltam que existe uma forte tendência mundial em dar à lignina presente no licor negro outros usos, a exemplo de sua adição a composição da matéria prima para produção de *pellets*, conforme pode ser visto na Tabela A26.

Lignina ***kraft*** (%)	Densidade aparente ($kg.m^{-3}$)	Densidade a granel ($kg.m^{-3}$)	Densidade Energética ($GJ.m^{-3}$)
0	1096,2 b (15,35)	601,5 e (0,16)	10,18 d (0,01)
1	1117,9 ab (14,15)	605,3 d (1,17)	10,23 c (0,03)
2	1118,3 ab (10,91)	610,5 c (0,57)	10,29 b (0,02)
3	1137,3 ab (17,85)	627,3 b (0,32)	10,52 a (0,01)
5	1163,4 a (16,50)	631,5 a (0,21)	10,54 a (0,01)

Médias, na coluna, seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste Tukey. (...)Desvio Padrão

Tabela A26 - Valores médios de densidade aparente, densidade a granel e densidade energética dos pellets em função do teor de lignina kraft. - Fonte: Pereira, 2014.

A utilização da lignina a partir do licor negro está condicionada à sua extração, que visa recuperar os materiais orgânicos valiosos a partir dos resíduos (LUONG et al., 2012). Silva (2010) afirma que o processo LignoBoost possibilita obter lignina de alta qualidade a partir do licor negro, em um processo onde parte do licor negro é retirado da planta de evaporação, e a lignina é então precipitada abaixando-se o pH para cerca de 9 a 10,5 pela injeção de dióxido de carbono; durante a precipitação ocorre a formação de um sistema coloidal, que passa por um tratamento de nucleação seguido de cristalização; segue-se a filtração da lignina precipitada e posteriormente uma lavagem bastante eficiente, necessária para reduzir o teor de cinzas na lignina; em seguida, a lignina precipitada é purificada por re-suspensão em licor de lavagem acidificado a pH 2,5 a 4, e diluição, seguida de nova filtração e lavagem com licor de lavagem ácido.

Na Tabela A27 é apresentada a caracterização da lignina kraft obtida pelo método de carbonatação seguida de acidificação, realizada por Gouveia (2012).

Amostra	Glucanas (%)	Xilanas (%)	Galactanas (%)	Mananas (%)	Arabinanas (%)	Lignina Total (%)	S:G Rendimento	S:G
Lignina Kraft	0,4	4,8	0,5	ND	ND	93,0	1,52 : 0,96	1,58
	0,5	4,6	0,5	ND	ND	92,7	1,62 : 1,0	1,62
Média	0,5	4,7	0,5	ND	ND	92,9	1,57 : 0,98	1,60
ND= não determinado.								

Tabela A27 - Constituição química da lignina Kraft extraída do licor negro de eucalipto.

Vários centros de pesquisas e empresas estão buscando outros fins para a lignina presente no licor negro, além do seu para para energia, aplicando-se o conceito de biorrefinaria à indústria florestal. No entanto, vale ressaltar que segundo Wallberg et al. (2006) numa fábrica moderna de celulose kraft, o excedente de energia produzida pode chegar a 7 GJ por tonelada de celulose seca, portanto o uso de parte do licor para outros fins não prejudicará o abastecimento de energia e vapor para a fábrica.

RESÍDUOS FLORESTAIS URBANOS – PODA URBANA

Resídulos sólidos, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas são definidos como quaisquer resíduos que se apresentem nos estados sólido e semi-sólidos resultantes de atividades industrial, domiciliar, hospitalar, comercial, agrícola, e de serviços de varrição (ABNT, 2004). Outros autores consideram que os estes resíduos compreendem, estritamente, os de origem residencial, comercial, serviços de varrição, de feiras livres, de capinas e de poda (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Independente da abrangência da definição, no Brasil tem-se uma grande geração de resíduos sólidos no ambiente urbano, principalmente nas regiões metropolitanas e, de modo geral, na maioria das vezes não possuem destinação correta ou mesmo sustentável. Sendo assim, em 2010, foi aprovada a Lei 12.305 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece destinação ambientalmente adequada de resíduos incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento

energético, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde e à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. Esta mesma lei estabelece que, poderão ser utilizadas tecnologias que visem a recuperação energética de resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada a viabilidade técnica e ambiental, contemplando a implantação de programa de monitoramente de emissão de gases tóxicos.

Neste sentido, existe um grande esforço relacionado à obtenção de novas fontes de energia, principalmente provenientes dos resíduos, que sejam capazes de substituir parcialmente os combustíveis fósseis por fontes mais econômicas e ambientalmente corretas. É nesse contexto que a utilização de biomassa e de resíduos sólidos como fonte de energia, ganha destaque como alternativa técnica e econômica (CAIRES, 2010).

Um resíduo sólido urbano muito comum é o resultante da poda de árvores e outros vegetais que compõe a arborização dos municípios (FIGURA A56). Oriundo das atividades de manutenção das áreas verdes no ambiente urbano, e realizado tanto por prefeituras municipais quanto por concessionárias de energia elétrica, os resíduos de poda de árvores são compostos por galhos, folhas, raízes e troncos e podem normalmente ser obtidos ao longo de todo o ano. Apesar de alguns trabalhos feitos na tentativa de aproveitar estes resíduos, pesquisas apontam que este material vem sendo, em grande quantidade, descartados em aterros na maioria dos municípios (CENBIO, 2007).

Embora a classificação dos resíduos de poda de acordo com a NBR 10.004/2004 seja classe II, não perigoso, a disposição destes em aterros pode provocar uma série de problemas, pois podem interagir química e biologicamente com materiais preexistentes, causando impactos sobre a qualidade do solo, água e ar (CORTEZ, 2008).

Além dos fatores ambientais e econômicos que envolvem a utilização ou a disposição final dos resíduos, a Lei 12.305 estabelece que compete ao gerador a responsabilidade pelos resíduos sólidos gerados, compreendendo as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

Figura A56 - Poda Urbana.
Fonte: Cemig (2011)

De acordo com Pavan (2008), de modo geral, o gerenciamento de resíduos sólidos envolve muitas variáveis, o que dificulta a tomada de decisões para implantação de políticas públicas direcionadas a esse tipo de material. A própria definição de resíduos sólidos, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR – 10.004, dimensiona a complexidade e a diversidade de setores que envolvem esta questão.

Dentro desse contexto, é crescente a busca por processos que transformem resíduos em subprodutos, sendo esses alavancados e potencializados pelas empresas, centros de pesquisas e os gestores municipais. O principal foco dessa questão é evitar a deposição em aterros sanitários e ao mesmo tempo proporcionar ao material, novas utilizações, por conseguinte valoração econômica e adequações ambientais (JURAS, 2001).

Ressalta-se, também, o desafio da convivência entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização urbana devido a necessidade da manutenção das redes de energia concomitantemente com a existência da vegetação, a qual é necessária por questões ambientais e paisagísticas. Assim, a poda das árvores no ambiente urbano é uma atividade constante e que demanda mão de obra efetiva e técnica das prefeituras e também soluções para a disposição correta de todo o volume gerado (SOUZA, 2014).

Além disso, presume-se que o resíduo de poda é um material muito heterogêneo, pois é oriundo de diversas espécies usadas na arborização urbana.

Existem várias rotas para aproveitamento dos resíduos de poda para energia, porém devido principalmente a heterogeneidade e a baixa densidade destes, a briquetagem e

a pelletização são, atualmente, uma das alternativas mais viáveis técnica e economicamente para transformá-los em combustíveis com alta densidade energética e competitivo perante outras fontes. Além disso, pode-se utilizar os resíduos de podas urbana conjuntamente com outros resíduos para melhor destinação dos mesmos, conforme pode ser observado na pesquisa de Souza, 2014, que produziu e qualificou *pellets* com resíduos de poda urbana e lodo de flotação, obtendo resultados satisfatórios (FIGURA A57).

Figura A57 – Pellets produzidos com diferentes misturas de resíduos de poda urbana e lodo de flotação. - Fonte: Souza, 2014.

De acordo com Gentil (2008), os produtos compactados produzidos a partir de diferentes biomassas residuais vêm se destacando no mercado, principalmente pelo apelo ambiental, e também pelo custo competitivo perante as fontes fósseis de energia. De acordo com Karamazovi (2011), os produtos compactados além de servirem para gerar energia térmica e elétrica para as indústrias, também são utilizados em restaurantes, pizzarias, padarias, olarias, lareiras, dentre outros. Paula (2010) corroborando diz que toda empresa que possuir um forno ou uma caldeira na qual possa ser utilizada lenha, é um cliente potencial para usar briquetes e pellets.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro/RJ. 2004.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2011. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2010. Brasília, 2011. 130p.

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, 2012. 145p.

ANDRADE, A. M.; PASSOS, P. R.; MARQUES, L. G. C.; OLIVEIRA, L. B.;VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. D. Pirólise de resíduos do co-co-da-baía (Cocosnucifera Limn) e análise do carvão vegetal. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 28,n. 5, p. 707-714, set./out. 2004.

ANDRADE, C.R. Espectroscopia no infravermelho próximo para predizer propriedades da madeira e do carvão vegetal de plantio clonal de Eucalyptus sp. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras. Lavras/MG. 2009

ANDRITZ – Feed&Biofuel. Mercado e Produção de combustíveis "verdes" a partir de biomassa. In: CONGRESSO INTERNACIONAL E BIOENERGIA, 6., Curitiba – PR. 2012.

ARANTES, M.D.C. Variação nas características da madeira e do carvão vegetal de um híbrido de Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake. Lavras, UFLA, p.155, 2009. (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

ARRUDA, T. P. M. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. 2005. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2005.

ASSIS, C. O. Sistema alternativo para carbonização da madeira. 2007. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. Brasília, 2012. 145p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2009. Florestas energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade. Belo Horizonte, 2009. 23p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2012. Anuário estatístico 2012: ano base 2011. Belo Horizonte, 2012. 12p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2015. Anuário estatístico 2015: ano base 2014. Belo Horizonte, MG. 41p.

BAER FILHO, R. Aspectos econômicos, ambientais e técnicos de três tecnologias para produção de carvão vegetal. 2008. Monografia (Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

BARROS, N. F. DE; NOVAIS, R. F. de. Relação solo eucalipto. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990.

BEEMG. 29º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais. 2014, ano base 2013. CEMIG. Belo Horizonte-MG. 184p.

BEN. Balanço Energético Naciona. 2016. Ano base, 2015. Relatório Síntese. Rio de Janeiro. RJ. 62p.

BERGMAN, P. C. A.; BOERSMA, A. R.; KIEL, J. H. A.; PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass ECN Biomass, v. 05, n. 067, p. 50, 2005.

BERGMAN, P.; KIEL, J. Torrefaction for biomass upgrad¬ing. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE, 14., Anais... Paris: ETA Renewable Energies, (Florence, Italy) and WIP Renewable Energies (Munich, Germany), 2005. p. 1-8.

BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos, EESC/USP – Projeto REENGE, 120 p. 1999.

BP Statistical Review of World Energy. BP Statistical Review of World Energy 2016. BP p.l.c.. Londres, p.48. 2016.

BRAND, M.A., Energia da biomassa florestal. Rio de Janeiro, Interciência, 131 p. 2010.

BRASIL. Lei nº12.305, Brasília, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 18/7/2016.

BRIANE, D. DOAT, J. Guide technique de la carbonisation. EDISUD, Aixen-Provence. 1985.

BRITO, J. O. Desafios e perspectivas da produção e comercialização do carvão vegetal. 2010. II Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal. Sete Lagoas – MG. 2010.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. Estudos Avançados, 21 (59), IEA, Universidade de São Paulo, 2007.

BRITO. J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In:

SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2, 1982, São Paulo. Anais ... São Paulo, Governo do Estado, p.101-137, 1982.

BROWNING, B.L. The chemistry of wood. New York, John Wiley & Sons, 1963. 689p.

BYRNE, C. E.; NAGLE, D. C. Carbonization of wood for advanced materials applications.1997.Carbon, Elmsford, v. 35, n. 2, p. 259-266, 1997.

CAIRES, R.R. Briquetagem de Resíduos – Biomassa. Unicamp, Campinas-SP. 2010. 8p.

CAMPOS, A. C. M. Carvão de Eucalyptus: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. 128p. Lavras/MG. 2008.

CARDOSO, M. OLIVEIRA, E.D. PASSOS, M.L. Licor Negro de eucalipto kraft provenientes de industriais brasileiras: Características físicas, químicas e seu processamento na unidade de recuperação. Artigo Técnico. Revista: O Papel, 2006.

CARDOSO, M. T. Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira. 2010. 89 p.Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2010.

CASTRO, A.F.N.M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.48, n.6, p.627-635, 2013.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. 2016. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/noticias/noticialeitura?contentid=CCEE_380438&_afrLoop=607639558550213#%40%3Fcontentid%3DCCEE_380438%26_afrLoop%3D607639558550213%26_adf.ctrl-state%3Dph86um1rk_134. Acesso: 20 de sembro de 2016.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. Manual de arborização. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p. : ilust.

CENBIO. Biomass Residues as Energy Source to Improve Energy Access and Local Economic Activity in low HDI regions in Brazil and Colombia, Projeto em desenvolvimento pelo Cenbio/IEE/USP Centro clima/COPPE/UFRJ/GNESD. 2015.

CENBIO, 3º Relatório parcial do projeto Fortalecimento Institucional do Centro nacional de Referência em Biomassa, 2007.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). Levantamento do potencial real de excedentes de cogeração no setor sucro alcooleiro: relatório técnico. Brasília: ANEEL, 2002.

CGEE. Modernização da produção de carvão vegetal. Subsídio para revisão do Plano Nacional da Siderurgia. Brasília-DF. 2014. 154p.

CORTEZ, C. L.; COELHO S. T.; GRISOLI, R.; GRAVIOLI F. Compostagem de resíduos de poda urbana. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documento

s/notatecnica_ix.pdf. Acesso: 15 de maio 2011.

COUTO, L.; MULLER, M.D.; SILVA JR., A.G.; CONDE, L.J.N. Produção de pellets de madeira – o caso da Bio-Energy no Espírito Santo. RENABIO. Biomassa&Energia, v.1, p. 45-52, 2004.

DIAS, L. M. S. Síntese e caracterização de adesivos de lignina Kraft de eucalipto. Dissertação (Mestrado), UFLA, Lavras, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2016. Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2015. Rio de Janeiro, 2016. 266p.

Entalpia de ligação. http://www.soq.com.br/conteudos/em/termoquimica/p4.php. Acesso em 10/08/2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional - Relatório Síntese - Ano Base 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p.62. 2016.

EUROPEAN COMISSION. EU 2030 Climate and Energy Framework. Brussels, 2014.

FÁVERO, G. C.; VALLE, R. M.; DUARTE, T. M. Análise Térmica de um Sistema de Combustão de Alcatrão em Fornos Retangulares para a Secagem da Madeira. In: 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica,2007, Peru. Anais... Peru, 2007.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. In.: Potencial de Energias Renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. 2014. Belo Horizonte-MG. 120p.

FOELKEL, C.E.B. Individualização das fibras da Madeira de eucalipto para produçãode celulose Kraft. 2009.

FOELKEL, C.E.B. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 02. Fatores de Sucesso para seu gerenciamento. Eucalyptus Online Book & Newsletter. São Paulo, ABTCP, 2008.

FOELKEL. C. E. B. Florestas Plantadas: Avanços Eucalipto no Brasil. Revista Visão Agrícola, 2005. 63-69p.

FREDERICO, P. G. U. Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa. 86 p. Viçosa/MG. 2009.

FROEHLICH, A. G.; JUSTEN, G. S.; LUPPI, L.; MORAES. S. Utilização de biomassa para geração de energia: estudo de caso em uma indústria madeireira de Aripuanã- MT. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2012.

GENTIL, L.V.B. Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. Brasília, 2008. 195 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal). Publicação EFL TD – 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília.

GOMES, F. A. Avaliação dos processos Kraft convencional e Lo-Solids para Madeira de Pinus taeda. Dissertação (Mestrado), ESALQ, Piracicaba, 2009.

GOUVEIA, A.F.G. Produção de briquete a partir da adição da lignina Kraft com resíduos da indústria moveleira. Tese (Ciência Florestal). Viçosa, MG, 2012.

HASSE, G. Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal. Porto Alegre: JA Editores. 127p. 2006.

HANSEN, M.T.; JEIN, A.R.; HAYES, S.; BATEMAN, P. English Handbook for Wood Pellet Combustion. Force Technology. 86p. Disponível em: http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=090313124119&type=doc&pdf=trueAcesso em: 20 Junho 2012, 2009.

IBÁ. Industria Brasileira de Árvores. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. São Paulo-SP. 100f.

IBÁ. INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. Brasília, 2016. 100p.

IBGE. Instituo Brasileiro de Geografia e Estatísticas. 2014. Extração Vegetal e Silvicultura. Rio de Janeiro, RJ. 54p.

IEA (International Energy Agency), World Energy Outlook 2015. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2015/>. Acesso em: 25 maio. 2016.

IEA Bioenergy. 2011. Global wood pellet industry market and trade study - Task 40 "Sustainable Bioenergy Trade". Disponível em: http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-global-wood-pellet-market-study_final.pdf Acesso em: 14 Junho 2012.

IONASHIRO, M.G. Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. Araraquara: Giz editorial, 2004. 96p.

JURAS, I. (2000). Destino dos resíduos sólidos e legislação sobre o tema. Nota Técnica. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estno

ttec/tema14/pdf/010371.pdf, acesso em: 10/03/2017.

JUVILLAR, J. B. Tecnologia de Transformação da Madeira em Carvão.1982. Belo Horizonte:Fundo Centro Tecnológico de Minas Gerais -CETEC, 1982. p.67-82.

KARAMAZOVI. (2011). Processo de briquetagem. Disponível em: http://www.karamazovi.com.br/briquetes.html#briquetagem, acesso em: 15/01/2011.

KARKANIA, V.; FANARA, E.; ZABANIOTOU, A. Review of sustainable biomass pellets production – A study for agricultural residues pellets' market in Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, p. 1426-1436, 2012.

KLEINSCHMIDT, C. P. Overview of international developments in torrefaction. Austria, p.9. 2011.

KOPPEJAN, J. et al. Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32 – Final Report. 54 p.2012.

LATORRE, F. L.; HENRIQUES, E. P. Melhoramento genético do eucaliptovisando a produção de carvão vegetal para siderurgia. In: Fórum Nacional de Carvão Vegetal, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte:Painel Floresta, 2008.

LI, H.; LIU, X.; LEGROS, R.; BI, X. T.; LIM, C. J.; SOKHANSANJ, S. Torrefaction of sawdust in a fluidized bed reactor. Bioresource Technology, v. 103, n. 1, p. 453-458, 2012.

LUONG, N. D., BINH, N. T. B., DUONG, L. D., KIM, D. O., KIM, D-S., LEE, S. H., KIM, B. J., LEE, Y. S., NAM, J-D. An eco-friendly and efficient route of lignin extraction from black liquor and a lignin-basead copolyester synthesis. Polymeres, South Korea, v. 68, p. 879-890, 2012.

MAGALHÃES, E. A. Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa. 2007. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MALAN, F.A. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE E EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. Anais... São Paulo, IPEF/IPT, 1995. p.1-19.

MALAN, F.A. Variation, association and inheritance of juvenile wood properties of Eucalyptus grandis Hill ex Maiden with special reference to the effect of rate of growth. South African Forestry Journal (157): 16-23, 1991.

MARRI, A.; OLIVEIRA, J. B.; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Manual de construção e operação de fornos de carbonização. 1982. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 55p. 1982.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: Produção e utilização do carvão vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. p. 75-89. 1982.

MIRANDA, M. R. S. Bagaço do sorgo: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MME - Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2014. Ministério de Minas e Energia, p.32. 2015.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. Análise Térmica de Materiais. São Paulo. Editora, 2002. 300 p.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. Biomass and Bioenergy, Amsterdam, v.33, n.3, p.415-420, Mar. 2009.

NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction. International Journal of Renewable Energy & Biofuels, v. 2014, p. 56, 2014.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T. BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. Oxford, Biomass & Bioenergy, v.30, n.11, p.973-982, Nov. 2006.

OLIVEIRA, A. C. Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. 2012. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

OLIVEIRA, C. M. Potencial de Otimização dos Resíduos e o Desenvolvimento de Novos Negócios aos Setores Sucroenergético Florestal e Celulose. Associação Brasileira Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. 2011.

OLIVEIRA, C.M. Wood Pellets Brasil. Associação Brasileira Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. 2011-2012.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L.C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus pellita F. Muell. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439. 2010.

OLIVEIRA, E.de. Correlação Entre Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden).1988. 47 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1988.

OLIVEIRA, J. B.de.;VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de Carvão Vegetal - aspectos técnicos. In: Produção e utilização de carvão vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. p.60-73. 1982.

OLIVEIRA, R. L. M. Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2009.

PÁDUA, F. A. Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake. Lavras, UFLA, p.99, 2009. (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

PAULA, L.E. e R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. 2010. Dissertação (Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 83f. 2010.

PELLETSLAR. O que são pellets? Disponívelem:http://www.pelletslar.com/?pID=31&selID=31|42. Acesso em: 21 maio 2012.

PENG, J.H. et al. Torrefaction and densification of different species of softwood residues. Fuel, v.111, p.411-421, 2013.

PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. 2012. 102p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. Railegh, Bioresources, v. 8, p. 4574-4592, 2013.

PEREIRA, B.L.C. Propriedades de pellets de diferentes biomassas para fins energéticos. Tese (Ciência Florestal). Viçosa-MG. 2014.

PEREIRA, J.C.D, STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa. 2000.

PHANPHANICH, M.; MANI, S. Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristics of forest biomass. Bioresource Technology, v. 102, n. 2, p. 1246-1253, 2011.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. Curso de atualização e carvão vegetal. Centro de Produções técnicas – CPT, 2000.76p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. Desempenho de um forno de carbonização semi contínuo tipo container para produção de carvão vegetal. Revista Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 183-189, 2004.

PINHEIRO, P.C.C.; FIGUEIREDO, F.J.; SEVE, O. Influência da temperatura e da taxa de aquecimento da carbonização nas propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. Biomassa e Energia; 2(2): 159-168. 2005

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, v.31, p. 113-122, 2011.

RAAD, T. J. Instrumentação e Controle de Processo de Carbonização dos Fornos Industriais da V&M Florestal. Anais...1o Congresso Internacional de uso da biomassa plantada para a produção de metais e geração de eletricidade, Belo Horizonte, Brasil, 8-11 outubro, 2001.

RAAD, T. J. Simulação do processo de secagem e carbonização de Eucalyptus spp. 2004. 114 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. Bioenergia. Energia Limpa e Abundante. Lettech Editora e Gráfica Ltda. Curitiba/PR. 2005.

REZENDE, J. B; SANTOS, A. C. A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades. 2010. Viçosa, MG: U.R. EPAMIG ZM, 2010. 80p.

REZENDE, M. E. Produção de carvão vegetal – importância do conhecimento fundamental. 2006. Belo Horizonte - MG. 2006.

RIBEIRO, G. B. D. O PAPEL DA BIOMASSA FLORESTAL NO SETOR ENERGÉTICO EUROPEU: MOMENTO ATUAL E PERSPECTIVAS. Notas de aula, ENF 668 - Energia da Madeira. Viçosa-MG. 12p. 2016.

ROCHA, M. F. V. Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de Eucalyptus grandis x Eucalyptus camaldulensis para energia. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. 84p. Viçosa/MG. 2011.

SHAH, A.; DARR, M.J.; MEDIC, D.; ANEX, R.P.; KHANAL, S.; MASKI, D. (2012). Techno-economic analysis of a production-scale torrefaction system for cellulosic biomass upgrading. Biofuels Bioprod. Biorefining-Biofpr. 6 (1), 45 e 57.

SANTANA, W.M.S. Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de Eucalyptus grandis x E. urophylla com enfoque energético. Lavras, UFLA, 92 p. 2009. (Ilust.). (Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

SANTOS, R. C. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. 2010, 173 f.Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A. Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle. Circular Técnica. Colombo: Embrapa. 2001.

SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. Definition and Nomenclature. In: SARKANEN e SUDWIG. Lignins: occurrence, formation, structure and reaction. New York, John Wiley & Sons, 1971. 916p.

SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; VOGEL, A. L M. Apostila de silvicultura aplicada. Apostila didática, 120 p. Santa Maria/RS. 2005.

SERRANO, D.M.C. 2009. Avaliação de produção e exportação de pellets combustível no Pólo Florestal da Região Sul do Brasil. UEC. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado) – UEC, Campinas.

SÈYE, O. Influencia da temperatura de carbonização nas propriedades docarvão vegetal de Eucalyptus. 1998. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SHAFIZADEH, F. Fuels from wood waste. In: ANDERSON, L.L. & TILLMAN, D.A. Fuel from waste. New York, Academic Press, p. 141-159, 1977.

SILVA, F. A. Alternativa para redução do consumo de combustível fóssil em fábrica de celulose Kraft de eucalipto. 2010. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SINDIFER. Sindicato da Industria do Ferro Gusa no Estado de Minas Gerais. Anuário Estatístico 2016, ano base 2015. Belo Hor-

izonte-MG. 23p.

SJÖSTRÖM, E. Wood chemistry: fundamentals and applications. 2.ed., New York, Academic Press, 1993. 293p.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. Cerne, Lavras, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. Viçosa, Revista Árvore, v.38, n.3, p.543-549, 2014.

Souza, M. M. Propriedades de briquetes e pellets produzidos com resíduos sólidos urbanos. 2014. Tese (Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 81f. 2014.

SPELTER, H.; TOTH, D. 2009. North America's wood pellet sector. Research Paper FPL-RP-656.Madison, WI: U.S. Department of Agricul¬ture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 21p.

TACCINI, M. M. Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2011.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. EPE. Rio de Janeiro, 2016. 452p.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de Eucalyptus. Cerne, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186. 2005

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (Himenea courbaril L.). Scientia Agraria, Piracicaba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna. Revista Cerne, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-11. 1996.

TSI. Disponível em: http://tsi-inc.net/biomasswood/products/torrefaction/. Acesso, agosto, 2016.

UASUF, A.; BECKER, G. Wood pellets production costs and energy consumption under different framework conditions in North-east Argentina. Biomass and Bioenergy, v.35, n.3, p.1357-1366, 2011.

USLU, A.; FAAIJ, A.P.C.; BERGMAN, P.C.A. 2008. Pre-treatment technologies, and their effect oninternational bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation oftorrefaction, fast pyrolysis and pelletisation. Energy, v.33, n.8, p.1206-23.

VAN DER STELT, M. J. C.; GERHAUSER, H.; KIEL, J. H. A.; PTASINSKI, K. J. Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. Biomass and Bioenergy, v. 35, n. 9, p. 3748-3762, 2011.

VENCOR. Disponível em: http://www.power-eng.com/marketwired/2015/01/29/vencor-international-introduces-first-torrefaction-machine.html. Acesso, Julho, 2016.

VENTAKESH, V.; NGUYEN, X.N. Evaporation and concentration of black liquor. In: HOUGH, G.W. (5) Chemical recovery in the alkaline pulping process. Atlanta: Tappi Press, 1985. 312p.

VERMA, V.; BRAM, S.; DE RUYCFE, J. Small scale biomass heating systems: standards, quality labelling and market driving factors – an EU outlook.2009. Biomassand Bioenergy 33(10):1393-402.

WALLBERG, O., LINDE, M., JONSON, A. Extraction of lignin and hemicelluloses from black liquor. Desalination, p. 413-414, 2006.

WIECHETECK, M. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos. Sumário Executivo, Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às políticas públicas na área de Gestão e controle ambiental, Ministério Do Meio Ambiente, Curitiba, 2009.

WILD, M. el al. Possible effects of torrefaction on biomass trade. IEA Bioenergy: Task 40, 68 p, 2016.

WILÉN, C. et al. Wood torrefaction – market prospects and integration with the forest and energy industry. VTT Technology163, 55 p, 2014.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H. ; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel, v. 86, p. 1781-1788, 2007.

ZHANG, M.; RESENDE, F. L. P.; MOUTSOGLOU, A.; RAYNIE, D. E. Pyrolysis of lignin extracted from prairie cordgrass, aspen, and Kraft lignin by Py-GC/MS and TGA/FTIR. New York, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v.98, p. 65–71, 2012.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. Genetics of wood production. Berlin, Springer-Verlag, 1995. 337p.

Potencial de Energia da Biomassa em Minas Gerais

NOE Novas Opções Energéticas

FAPEMIG

P&D ANEEL

CEMIG

MINAS GERAIS GOVERNO DE TODOS